

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



TRABAJO FIN DE MASTER

*CARACTERIZACIÓN PRÁCTICA DEL
CANAL ESTRECHO EN LAS BANDAS DE
2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz PARA
INTERIORES*

Master en Investigación e Innovación en
Tecnologías de la Información y las
Comunicaciones

CÉSAR ALFREDO NARANJO HIDALGO
Julio 2013

CARACTERIZACIÓN PRÁCTICA DEL CANAL ESTRECHO EN LAS BANDAS DE 2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz PARA INTERIORES

AUTOR: César Alfredo Naranjo Hidalgo
TUTOR: Bazil Taha Ahmed

Grupo de RFCAS
Departamento de Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Julio 2013

Resumen

Resumen

El objetivo principal de este Proyecto es el de realizar una campaña de medidas para poder determinar el cálculo de las pérdidas de propagación para diferentes escenarios, en ambientes interiores para las bandas de trabajo de 2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz del canal estrecho con antenas directivas de alta ganancia.

Los enlaces analizados están hasta 25 metros de distancia, que es la separación entre las dos antenas, según el escenario, realizando la simulación de enlaces reales dentro del interior de edificios, zonas llamadas picoceldas por su extensión, siguiendo un arreglo de estación base fija y cliente móvil. Para la cual se emplearán antenas directivas tanto para polarización horizontal como vertical aplicados a los distintos escenarios analizados y así poder comprobar su comportamiento.

Los resultados se presentarán:

- De manera gráfica las mismas que dispondrán de: la atenuación en el enlace con los datos medidos, el ajuste de las medidas en dos rectas o una, y su función de distribución acumulativa.
- En forma de ecuación de las pérdidas de propagación dado el valor medio de ajuste.
- En forma de tablas un resumen de los datos más importantes observados en cada escenario.

Palabras Claves

Pérdidas de propagación

802.11 ac

Modelo de propagación

Modelo Empírico

Polarización

Desvanecimiento

Sombreado

Antena

Analizador de espectros

Generador de señales

Función de distribución acumulativa

Abstrac

The main objective of this project is to perform a series of measurements to determine the calculation of propagation losses for different scenarios, in indoor work for bands of 2.4 GHz, 3.3 GHz and 5.5 GHz narrow channel.

The links are analyzed between 15 and 25 meters, which is the separation between the two antennas, depending on the scenario, performing the simulation real links within the interior of buildings, areas called picocells for its size, following an array of base station fixed and mobile client. For which different antennas are used for both gains horizontal and vertical polarization applied to different scenarios analyzed and thus be able to check its performance. The results are presented:

- In a graphic way that will have them: the attenuation in the link with the measured data, the adjustment of the measures of two straight, and its cumulative distribution function.
- In equation form propagation model used, which defines the set of measures on two lines.
- In tabular form a summary of the most important data observed at each stage.

Key words

Propagation loss

802.11 ac

Propagation model

Empirical Model

Polarization

Fading

Shadowing

Antenna

Spectrum analyzer

Signal generator

Cumulative distribution function

Agradecimiento

Primeramente a mi Dios por haberme dado las fuerzas y la salud para vivir esta experiencia. Gracias mi Dios.

En agradecimiento muy profundo y de corazón para esa persona que desinteresadamente me colabora desde el inicio hasta la culminación de este proyecto. Al señor Dr. Bazil Taha Ahmed, una persona muy capaz, un buen investigador y un buen docente, que Dios le bendiga por siempre a él y a su digna esposa Nuha quien a la distancia me daba animos para salir adelante, y siga así formando a las juventudes con ese don que solo las buenas personas disponen. Muchas gracias Bazil.

Al personal docente del grupo RFCAS, Jorge Ruiz Cruz, José Luis Masa Campos y Juan Córcoles, más que maestros amigos. Buenos investigadores y excelentes maestros. Dios les bendiga.

Al grupo de estudiantes, Ignacio, Juan Pablo, Guille, Guillermo, Pedro, Sergio, Pablo, Nerea y Eva muestra de una juventud sana y con ansiedad de conocimiento, sigan adelante en busca de nuevos retos.

A un amigo que en las buenas y en las malas siempre ha estado, gracias Raúl.

Dedicatoria

Nunca esperes un milagro sin hacer nada.....

Este trabajo va dedicado a las personas más importantes de mi vida que me apoyaron en todo momento aún en la distancia me hicieron sentir que nunca me aparte de ellas.

Sandra mi querida esposa con su dulce voz, consejos y comprensión siempre confió en mí. Gracias por ser el soporte para poder salir adelante, te amo.

Grace mi reinita con sus palabras tiernas me daba fuerzas para salir adelante

Y Cecibel mi princesita con sus palabras duras nunca dejo que desmayara en este reto.

Dios les bendiga mis Amorcitos.

César.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Motivación del proyecto	1
1.2	Objetivos y enfoque	2
1.3	Metodología y plan de trabajo	3
1.4	Organización de la memoria	3
2	ESTADO DEL ARTE	5
2.1	Modelado de la propagación de radio en interiores	10
2.1.1	Fenómenos físicos que explican la propagación.....	10
2.1.1.1	Características fading	11
2.2	Tipos de modelos de propagación	12
2.2.1	Modelos determinísticos	12
2.2.2	Modelos empíricos.....	12
2.2.2.1	Modelo de pérdidas en el trayecto log-distance.....	13
2.2.2.2	Modelo de pendiente única (One-slope model)	13
2.2.2.3	Modelo doble pendiente (two-slope model)	14
2.2.2.4	Modelo multi pared (Multi-Wall model)	15
2.2.2.5	Modelo de atenuación lineal.....	15
2.3	Pérdidas en el espacio libre	15
3	TEORÍA RELACIONADA.....	17
3.1	Redes inalámbricas	17
3.1.1	Wi-Fi.....	17
3.1.2	WiMax.....	18
3.2	Teoría de antenas.....	19
3.2.1	Antenas, definición	19
3.2.1.1	Diagrama de radiación	19
3.2.1.2	Intensidad de radiación.....	20
3.2.1.3	Ganancia.....	20

3.2.1.4	Directividad	21
3.2.1.5	Polarización	21
3.2.1.6	Densidad de potencia radiada.....	21
3.2.1.7	Ancho de banda	21
3.2.2	Regiones de radiación	22
3.2.2.1	Región reactiva.....	22
3.2.2.2	Radiación de campo cercano o Región de Fresnel	22
3.2.2.3	Región Campo Lejano o Región Fraunhofer	23
3.3	Distribución de probabilidad	23
3.3.1	Función de distribución acumulativa	23
3.4	Balance del enlace.....	25
4	PREPARACIÓN PARA LA CAMPAÑA DE MEDIDAS	27
4.1	Análisis del material	27
4.1.1	Antenas	28
4.1.1.1	Características de las antenas empleadas.....	28
4.1.2	Cables.....	29
4.1.3	Analizador de espectros.....	30
4.1.4	Generador de señales	30
4.1.5	Medidor laser	31
4.2	Escenarios	32
4.3	Calibración	32
4.4	Toma de datos.....	33
5	CAMPAÑA DE MEDIDAS	37
	Análisis y representación gráfica de los datos obtenidos	37
5.1	Escenarios en el Edificio C.....	37
5.1.1	Escenario 1 Pasillo de los laboratorios C103 – C111.....	37
5.1.1.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	37
5.1.1.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	43
5.1.1.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	48
5.1.2	Escenario 2. Pasillo de los despachos C104 – C112.	56

5.1.2.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	56
5.1.2.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	61
5.1.2.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	67
5.1.3	Escenario 3. Pasillo de la planta baja junto a los laboratorios C005 – C007.	74
5.1.3.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	74
5.1.3.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	80
5.1.3.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	86
5.1.4	Escenario 7. Pasillo del primer piso Edificio C junto al laboratorio C103 y aula C105.	94
5.1.4.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	94
5.1.4.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	100
5.1.4.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	106
5.2	Edificio B	113
5.2.1	Escenario 4A. Pasillo del tercer piso Edificio B junto a los despachos B340 – B353.	113
5.2.1.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	113
5.2.1.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	119
5.2.1.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	124
5.2.2	Escenario 4B. Pasillo del tercer piso Edificio B junto a los despachos B340 – B353.	131
5.2.2.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	131
5.2.2.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	137
5.2.2.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	143
5.2.3	Escenario 5A. Pasillo del cuarto piso Edificio B junto a los despachos B409 – B415.	150
5.2.3.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	150
5.2.3.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	156
5.2.3.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	161
5.2.4	Escenario 5B. Pasillo del cuarto piso Edificio B junto a los despachos B409 – B415.	168
5.2.4.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	168
5.2.4.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	174
5.2.4.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	180
5.3	Edificio A	187
5.3.1	Escenario 6. Pasillo del primer piso Edificio A junto a las aulas A06 – A09.....	187
5.3.1.1	Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.....	187
5.3.1.2	Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.....	193
5.3.1.3	Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.....	198
5.4	Análisis de resultados:.....	205

6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	217
6.1	Conclusiones	217
6.2	Trabajo futuro	218

Capítulo 1

1 Introducción

En este capítulo se revisa los antecedentes de la motivación del proyecto, planteando los objetivos y el plan de trabajo para el desarrollo del presente proyecto.

1.1 Motivación del proyecto

El desarrollo de la tecnología en la actualidad ha incrementado el uso y demanda de los dispositivos móviles en las sociedades actuales, como son los ya conocidos ordenadores portátiles, telefonía móvil que usan los smartphone y algún otro dispositivo móvil, un usuario dentro de una red inalámbrica puede transmitir y recibir voz, datos y vídeo dentro de edificios, entre edificios o campus universitarios e inclusive sobre áreas metropolitanas a velocidades que dependen del estándar o la tecnología adoptada y de su frecuencia de operación. Por lo que la exigencia de la banda es cada vez mayor para estos dispositivos, lo que ha provocado que las tecnologías existentes sean insuficientes para brindar los requerimientos de servicio hoy en día, como es el de proveer velocidades de acceso mayor a los 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta de alta seguridad que permita ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar y lo que es más con un precio mínimo.

Para cubrir la demanda, se han desarrollado dos estándares 802.16 WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2.3 a 3.5 GHz con una cobertura de hasta 70 Km., y con velocidades de 70 Mbps. Adicionalmente utiliza una frecuencia no licenciada de 5.4 GHz para acceso fijo. La tecnología WiMax está desarrollada para uso en exteriores principalmente, mientras que para interiores la tecnología de acceso WiFi, se ha convertido en una componente clave para dotar de servicios de banda ancha permitiendo, la flexibilidad del servicio y la movilidad del usuario, de tal manera que se puedan utilizar estos servicios de banda ancha sin cables, con gran sencillez de instalación, accesibilidad móvil y un coste asequible. Están basadas en las tecnologías de radio estándar 802.11 suministran una conectividad sin cables, rápida, segura y confiable. Una tecnología inalámbrica con velocidades de conexión comprendidas entre 11, 54 y hasta 108 Mbps., con coberturas de 100 metros en las mejores condiciones.

Actualmente se ha desarrollado la tecnología 4G, que son siglas para referirse a la cuarta generación de telefonía móvil. Ésta es la sucesora de las tecnologías anteriores es decir 2G y 3G, considerada como un sistema de sistemas y una red de redes alcanzada gracias a la convergencia entre las redes de

cables y las inalámbricas, la cual podrá ser utilizada por módems inalámbricos, móviles inteligentes y otros dispositivos móviles

La Figura 1.1¹ muestra el desarrollo de las redes inalámbricas en su contexto.

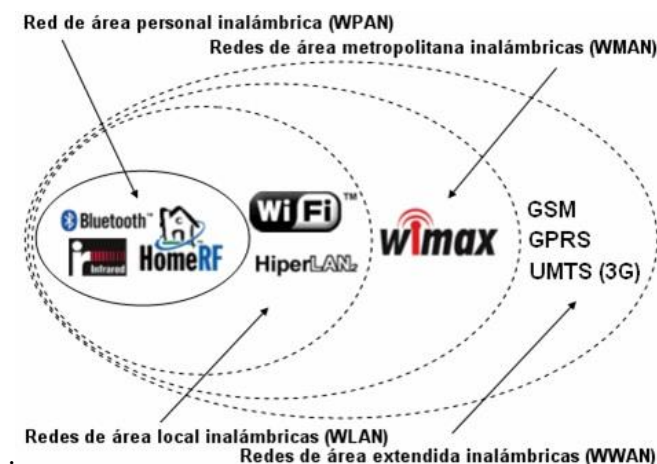


Figura 1.1: Desarrollo de las redes inalámbricas

1.2 Objetivos y enfoque

La necesidad de mantener un acceso permanente a la información ha llevado a la industria a desarrollar soluciones inalámbricas que permitan al usuario mantener una vía de acceso a la información que sea versátil, rápida y segura.

Como en todo diseño se hace necesario conocer las características del medio de transmisión para garantizar la calidad de servicio que se brinda a los usuarios.

Por lo tanto el objetivo principal del proyecto es hacer una campaña de mediciones en función de los diferentes entornos de los escenarios para determinar las pérdidas de propagación y caracterizar el canal en las tres bandas de frecuencias que se indican a continuación:

- 2.4 GHz
- 3.3 GHz
- 5.5 GHz

La caracterización se la realiza en forma gráfica y matemática de las pérdidas que sufren las señales electromagnéticas en diferentes entornos y a distintas distancias con antenas con ganancias comprendidas entre 13 y 15 dB.

¹ www.wimax.com

Y después realizar un análisis de dichas pérdidas. Los resultados analizados pretenden servir de apoyo para el estudio de la cobertura de cada uno de los diferentes sistemas.

1.3 Metodología y plan de trabajo

El plan de trabajo consiste en hacer medidas de propagación de enlace para las frecuencias del canal estrecho que se encuentran en 2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz, empleando equipo especializado para estas frecuencias.

La metodología de análisis será muy particular, donde los enlaces se realizaran en distancias cortas. Se realizará el análisis para polarización horizontal y vertical a una altura determinada para las antenas directivas en el radioenlace.

Los resultados se mostrarán en forma de tablas, o bien en forma de gráficas, en la que se mostraran distintos parámetros que se quieran comparar. Por otro lado, los escenarios a estudiar serán los más representativos, los cuales posean unas características muy atractivas para su estudio y que puedan encontrarse en cualquier caso real de radioenlace.

Los escenarios son los siguientes:

Bloque C: primer piso, pasillo junto a los laboratorios C107 – C111 (escenario 1)

Bloque C: primer piso, pasillo junto a los despachos C114 – C118 (escenario 2)

Bloque C: planta baja, pasillo junto a los laboratorios C005 – C007 (escenario 3)

Bloque B: tercer piso, pasillo junto a los despachos B340 – B353 (escenario 4A y 4B)

Bloque B: cuarto piso, pasillo junto a los despachos B409 – B415 (escenario 5A y 5B)

Bloque A: planta baja, pasillo junto a las aulas A006 – A009 (escenario 6)

Bloque C: primer piso, pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105 (escenario 7)

1.4 Organización de la memoria

La memoria se ha estructurado en un grupo de seis capítulos. El primer capítulo se realiza una introducción al tema en sí del proyecto, indicando los objetivos perseguidos y una breve explicación de cómo se ha desarrollado el proyecto. En el segundo capítulo se indica los trabajos existentes sobre la investigación y de manera general las pérdidas de propagación y los modelos más usados. Se presentan las pérdidas del espacio libre en las tres bandas de frecuencias. En el tercer capítulo se realiza un estudio de la teoría general sobre ciertos conceptos y herramientas necesarios para el proyecto. El cuarto capítulo hace referencia al trabajo que se ha realizado antes del comienzo de la campaña de medidas. También se explica la metodología que se ha seguido para la recopilación de los datos y una explicación de la representación de los resultados. En el quinto capítulo se presentan los

resultados obtenidos en la campaña de medidas y los escenarios estudiados, así como el modelo de propagación que se ajusta más. Finalmente, en el sexto capítulo se recopilan las conclusiones obtenidas con este trabajo y algunas propuestas de trabajo futuro y continuación a este proyecto.

Capítulo 2

2 Estado del Arte

La necesidad de mantener un acceso permanente a la información ha llevado a la industria a desarrollar soluciones inalámbricas que permitan al usuario mantener una vía de acceso a la información de una manera versátil, rápida y segura. Es así que tecnologías como 3G y emergentes, tecnologías WiFi tecnologías WiMax consideradas como relevantes, cambiaron radicalmente la forma de ver las telecomunicaciones y con ello, surgieron numerosos servicios que iban más allá de la utilidad de la comunicación vía radio. Servicios como videollamada o el uso de internet son algunos

En este capítulo se revisa la conceptualización necesaria sobre el tema y los trabajos existentes relacionados sobre la investigación, los cuales incorporan datos de soporte para la determinación y comportamiento de los canales que trabajan a frecuencias de 2.4, 3.3 y 5.5 GHz.

El campo de la propagación indoor es relativamente nuevo y las primeras investigaciones datan de primeros de los 1980s. La misma que poco a poco fue avanzando con la llegada de las WLAN haciendo todavía más necesario el disponer de modelos indoor de predicción de cobertura.

Los sistemas de comunicaciones por radio en los últimos años sufrieron grandes cambios, debido a que las exigencias actuales son mayores como es la calidad y rentabilidad por lo tanto deben ser diseñados cuidadosamente, puesto que estos son dependientes de las características del medio ambiente.

El desarrollo de sistemas móviles micro celular y picos celular se deben al incremento de la demanda de comunicaciones móviles que operan en interiores y exteriores de edificios.

En [2] los nuevos sistemas de comunicaciones de próxima generación dan mayor énfasis al ambiente interior porque no hay necesidad de otros servicios por ejemplo la información sobre la posición de los usuarios móviles en el interior de grandes edificios, centros comerciales, etc. La predicción de la propagación dentro de los edificios es difícil debido a la aparición de varios fenómenos de propagación [3] que depende de la estructura específica del edificio. La propagación en corredores y pasillos tiene menos pérdidas que las pérdidas en el espacio libre. Mientras que la propagación de señales a través de paredes y suelos sufren una pérdida significativamente mayor que el espacio libre, así también el movimiento de las personas dentro de la construcción pueden absorber la señal.

Con el fin de caracterizar la propagación de radio en interiores se ha llevado a cabo la medición en dos edificios diferentes a 2,4 GHz. Utilizando dos enfoques de datos: matemáticos y medidos. El modelo de pérdidas en el trayecto Log-distance para el enfoque matemático, mientras que los datos medidos es para observar la propagación de la señal. Estos dos enfoques se utilizan básicamente para la

comparación y obtención del coeficiente de pérdida en el trayecto, n , que es aplicable para la frecuencia a 2.4 GHz. Los modelos desarrollados se basan en las pérdidas en el trayecto exponencial versus la relación de distancia. En el espacio libre el exponente de pérdidas en el trayecto es cercano a 2 ($n=2$), para ambientes con muchos más obstáculos entre el transmisor y receptor el exponente de pérdidas en el trayecto puede ser mucho mayor.

La determinación de la zona de cobertura para la selección del número óptimo de estaciones base para una comunicación fiable fue importante, un modelo simple log-distance es usado para determinar la atenuación de la señal transmitida a la frecuencia f_T , cuando el transmisor y el receptor están en situación de LOS (line of sight).

$$PL(d)[dB] = PL(d_o)[dB] + 10 * n * \log_{10}(d/d_o) \quad (2-1)$$

La distancia de referencia d_o , la cual es 1 m, es usada para normalizar a la que se produce a una distancia d_o desde el transmisor y sólo se incluyen los efectos de la propagación, n es el exponente de pérdidas del trayecto y d es la distancia entre el transmisor y el receptor en metros.

Mientras que para NLOS la pérdida en el trayecto puede formularse como, las pérdidas de atenuación en la misma planta provocada por paredes y divisiones a partir de la siguiente fórmula:

$$PL(d)[dB] = PL(d_o) + 10 * n * \log_{10}(d/d_o) + \sum_{p=1}^P WAF(p) + \sum_{q=1}^Q FAF(q) \quad (2-2)$$

Donde P y Q representan el número de paredes y plantas entre antenas transmisora y receptora respectivamente, n es el exponente de pérdidas del trayecto, suele ser mayor que 2, $WAF(P)$ y $FAF(Q)$ son los factores de atenuación de paredes y pisos.

En [3] diferentes modelos de propagación para canales de comunicación inalámbrica como son macro celular y micro celular se presentan indicando sus ventajas y desventajas para mejorar los existentes de una manera más práctica. Además se considera los métodos de predicción para los modelos en interiores debido a que la banda de 1.8 a 2 GHz es la banda en la que los principales sistemas de radio para interiores operan hoy en día.

Los mecanismos de propagación son muy complejos y diversos, en primer lugar la distancia de separación entre el transmisor y receptor produce la atenuación de la intensidad de la señal. Además la señal se propaga por medio de difracción, dispersión, reflexión, refracción.

Otro inconveniente es el desvanecimiento el cual es causado por la interferencia entre dos o más versiones de la señal transmitida que llegan al receptor en tiempos diferentes, provocando la pérdida de la señal de forma temporal o que la señal sea interpretada incorrectamente en el extremo del receptor. En [5] se considera el efecto de una señal dominante que llega al receptor con muchas señales de los múltiples trayectos (más débiles) que dan lugar a la distribución de Rice. A medida que la señal dominante se vuelve más débil, la señal compuesta se parece a una señal de ruido, que tiene una componente que se describe como una distribución de Rayleigh. Por lo tanto, la distribución de Rice declina a una distribución de Rayleigh cuando los componentes dominantes se desvanecen a lo largo del trayecto. Esta información resulta ser útil en el diseño e implementación de sistemas de comunicación que operan en la banda de 5 GHz de los estándares inalámbricos, con los resultados obtenidos se puede desarrollar un modelo de cadena de Markov del canal inalámbrico en interiores donde las probabilidades de transición entre los mismos se determinen en base al esquema del tipo de modulación aplicada.

En [6] se caracteriza al canal interior-exterior para redes de área local inalámbricas del estándar 802.11 a/g en la frecuencia de 2.4 GHz. Empleando un modelo empírico: Modelo de pérdidas en el trayecto Log-distance (distancia logarítmica), analizando pérdidas en el trayecto por desvanecimiento en la banda de 2.4 GHz, con los resultados se derivó un canal empírico que puede caracterizar al canal inalámbrico interno-externo que se adapte a las comunicaciones de banda ancha de múltiples saltos.

El conjunto de protocolos 802.11, WiFi posee estándares de redes inalámbricas, que operan principalmente en ambiente interiores [7], los que son dependientes de las estructuras de las edificaciones como son: paredes, divisiones dentro del edificio. El modelo de pérdidas en el trayecto Log-distance es empleado para el cálculo de los exponentes de propagación, y para la desviación estándar se utiliza Log-normal Shadowing estos dos modelos empíricos describen los modelos de pérdidas en el trayecto para diferentes distancias entre el transmisor- receptor y escenarios. Y un modelo determinístico como es el modelo de dos rayos (two ray model), se utilizan en la determinación de las ecuaciones para las pérdidas en el trayecto para los diferentes escenarios. Finalmente las pruebas estadísticas con el Chi-square usando los valores de cada punto de acceso (AP) determinan que el desvanecimiento observado es una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Varios estudios se dan sobre el estándar 802.11 y cada vez es más analizado para determinar su comportamiento en diferentes entornos tal vez sin considerar el efecto que podría o no alterar a la señal como es el clima, en [8] se propone un nuevo modelo de propagación, realizando un análisis comparativo de los modelos existentes y el propuesto con los efectos de la temperatura y la humedad relativa en la atenuación de la señal. Para esto solo se consideran modelos de redes inalámbricas dentro del estándar IEEE 802.11g en 2.4 GHz. El modelo propuesto emplea múltiples regresiones

lineales, una adecuada combinación de variables para los datos de atenuación, la idea era encontrar un modelo tal que:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2-3)$$

Donde Y debería indicar la señal atenuada y X_i las variables explicativas. β es un parámetro llamado factor de desorden (clutter factor) que se encuentra experimentalmente. Posibles variables consideradas en esta búsqueda fueron la distancia, humedad relativa y la temperatura. Los experimentos realizados muestran que la humedad relativa afecta a los rangos de propagación 802.11g, por lo tanto el modelo propuesto, teniendo en cuenta la humedad del aire en la propagación para 802.11g es:

$$PL(d, RH)[dB] = \beta_0 + \beta_1 \log_{10}(d) + \beta_2 d + \beta_3 \log_{10}(RH) \quad (2-4)$$

Un enfoque unificado en [9] para predecir la pérdida total del trayecto en varios enlaces de comunicación en interiores, considerando el método estocástico para las estimaciones de desvanecimiento lento y rápido causado por los fenómenos de difracción y multitrayecto. Los resultados de ésta unificación de enfoques se comparan con el modelo analítico (Bertoni) y el modelo empírico (Rappaport), que son bien conocidos y se utilizan generalmente en el diseño del presupuesto del enlace en varios ambientes interiores. Se propone un modelo analítico de la propagación de ondas de radio a través del corredor de impedancias como una guía de onda ininterrumpida, el mismo modelo fue probado con éxito en ambientes exteriores. Este tipo de modelo permite analizar los campos electromagnéticos en el interior del corredor y finalmente se obtiene una expresión para la atenuación (extinción) de las pérdidas a lo largo del trayecto.

El modelo propuesto, toma en cuenta los efectos de shadowing mediante la introducción en ecuación (2-1) de un término X_σ término, que describe el carácter estadístico de desvanecimiento lento en el enlace de interiores y como una variable aleatoria satisface la distribución logarítmica normal con una desviación estándar de σ en dB. A continuación, la pérdida total del trayecto en dB dentro del edificio es igual:

$$\bar{L}(d) = L(d_o) + 10 * n * \log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) + X_\sigma [dB] \quad (2-5)$$

Para este modelo, el exponente n y la desviación estándar σ se determinan como parámetros que son funciones de tipo de edificio.

El modelo propuesto:

$$L_{total} [dB] = \bar{L} [dB] + L_{fading} [dB] \quad (2-6)$$

Se basa en la combinación de la fórmula de la penetración directa de Bertoni a través de pisos y paredes y la atenuación adicional L_{fading} que toma en cuenta el log-normal shadowing y los efectos multitrayecto causado por las estructuras internas y las obstrucciones.

La comparación con mediciones anteriores y el modelo del Bertoni, teniendo en cuenta tanto la pérdida directa y el efecto de difracción, ha demostrado que este enfoque unificado puede ser utilizado con éxito también para el diseño del presupuesto del enlace en varios enlaces de comunicación en interiores.

El desarrollo tecnológico en el ambiente de las comunicaciones inalámbricas busca mejorar el ancho de banda, tal es el caso, de los estándares IEEE 802.11, han desarrollado el IEEE 802.11 ac que operará en la banda de 5,5 GHz con un ancho de banda de frecuencia por canal de hasta 160 MHz y 320 MHz. En [11] se da por primera vez el estudio de las pérdidas de propagación y respuesta del canal al impulso (CIR) en uno de los canales de la directiva de la banda ancha de 5.5 GHz. Adicionalmente se realiza la medición de modelo para caracterizar el canal interior en la banda de frecuencia 5,5 GHz en los escenarios que normalmente se encuentran en edificaciones. Las ecuaciones para describir la pérdida de trayecto se han determinado a partir del análisis de los resultados de la medición en cada escenario. Un ancho de banda de 300 MHz se ha seleccionado, ya que es el ancho de banda futuro que se puede utilizar en el sistema de IEEE 802.11 ac.

Considerando además de las características de los materiales existente en los pasillos y corredores en ambientes interiores, los seres humanos cuando están en las proximidades de los enlaces provocan un impacto en las mediciones. En [12] se realiza un estudio sobre el efecto que los seres humanos provocan en enlaces de corto alcance en ambientes interiores, dentro de la banda de 3 a 11 GHz. Cuando un enlace es obstruido por un ser humano las ondas de radio se propagan a través del cuerpo humano y estas pueden pasarse por alto debido a la muy pequeña profundidad de penetración. Pero los principales componentes que contribuyen a la señal en el receptor serían las ondas de difracción en todo el cuerpo y las reflejadas / dispersas por los objetos cercanos. De los resultados, cuando el enlace es obstruido por una pared u otro objeto en adición al cuerpo humano (lo más cercano posible), se desvanece debido al cuerpo humano, llegando inclusive a atenuarse completamente la señal en algunas

frecuencias. Determinando que la distribución de las medidas se ajusta de mejor manera a un CDF normal en la mayoría de las frecuencias empleadas.

2.1 Modelado de la propagación de radio en interiores

Un proceso puede ser modelado de varias formas para determinar el comportamiento en la propagación de las señales de radiofrecuencia; en particular, en entornos interiores de un edificio conocidos como sistemas INDOOR [2].

La señal emitida por la antena transmisora va a experimentar múltiples transformaciones en su señal a lo largo de su trayectoria por el medio de propagación, llegando al receptor solo una pequeña parte de la misma. El modelamiento en entornos de interiores es un fenómeno muy complejo [2]. En ocasiones hay trayectos LOS, pero generalmente el trayecto es NLOS, debido al bloqueo del rayo directo por paredes, pisos, mamparas u otros objetos. Llegando al receptor a través de multitrayectos con dispersión, difracción y reflexión [3]. A diferencia de los canales de transmisión empleados en comunicaciones por cable, que es estacionario y predecible, el canal radio es extremadamente variante con el tiempo y, por tanto, difícil de predecir.

2.1.1 Fenómenos físicos que explican la propagación

Para disponer de modelos de propagación de radio más realistas, se debe contemplar la existencia de distintos objetos situados entre el transmisor y el receptor y estudiar su influencia en la propagación de la señal transmitida. Los fenómenos básicos que explican la propagación radio son la reflexión, difracción, refracción y dispersión [4].

El fenómeno de **reflexión** ocurre cuando una onda electromagnética incide en una superficie lisa de grandes dimensiones con respecto a la longitud de dicha onda. La energía de la onda electromagnética incidente es en parte transmitida al objeto y en parte reflejada [4]. Una onda reflejada puede disminuir o aumentar el nivel de señal en el punto de recepción. En los casos en que existen muchas ondas reflejadas, el nivel de señal recibida tiende a ser muy inestable. Este fenómeno se conoce comúnmente como *desvanecimiento* por trayectorias múltiples, y la señal a menudo es una distribución Rayleigh.

Cuando la onda transmitida incide en el objeto se generan ondas secundarias que rodean al objeto y que, finalmente, alcanzan el receptor. Este fenómeno es conocido como **difracción**. A frecuencias altas, la energía total difractada, al igual que ocurría con la reflexión, depende de la geometría del objeto, así como de la amplitud, fase y polarización de la onda incidente.

La **refracción** es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio a otro. Cuando la onda transmitida incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad que experimenta la onda. El índice de refracción es precisamente la relación entre la velocidad de la onda en un medio de referencia (el vacío para las ondas electromagnéticas) y su velocidad en el medio de

que se trate [4]. Este término es muy importante en el diseño del sistema de radio macrocélula. Debido a un índice de refracción variable de la atmósfera, las ondas de radio no se propagan a lo largo de una línea recta, sino más bien a lo largo de una curva. Por lo tanto, el área de cobertura de un transmisor real es generalmente más grande [3].

Cuando la trayectoria de propagación contiene los obstáculos cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda, la energía se refleja en todas las direcciones. Este fenómeno se conoce con el nombre de **dispersión** o difusión (del inglés scattering), de todos los fenómenos mencionados, la dispersión es el más difícil de predecir [3].

La Figura 2.1 muestra el comportamiento de la señal electromagnética ante los fenómenos físicos que se pueden presentar en el canal de radio.

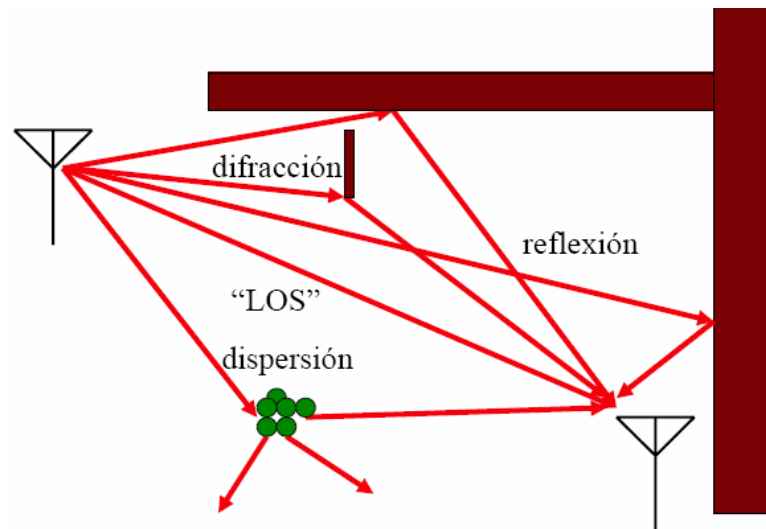


Figura 2.1: Fenómenos físicos del canal de radio [4]

En interiores estos efectos se ven acentuados. Es muy difícil diseñar un edificio que esté libre de reflexiones multitrayecto, difracción alrededor de las esquinas o dispersión de las paredes, techo o suelos [4].

2.1.1.1 Características fading

El desvanecimiento (fading) es la desviación o atenuación que la señal electromagnética experimenta sobre determinados medios de propagación. La potencia de la señal recibida depende de la potencia de transmisión, ganancia de la antena transmisora y receptora, la frecuencia portadora, la distancia, y las características de desvanecimiento del enlace inalámbrico entre el transmisor y el receptor. Cuando se

produce una transmisión inalámbrica, réplicas de la señal transmitida llegarán al receptor debido a fenómenos tales como la reflexión y la dispersión [5] [6].

2.2 Tipos de modelos de propagación

Los modelos de propagación se desarrollan normalmente para predecir el comportamiento de cómo la señal se propaga en diferentes ambientes [2] prácticamente consiste en la predicción de la potencia promedio de la señal que recibe la estación receptora, así como la variación de la potencia en la proximidad espacial de un lugar en particular. En forma general un modelo es una representación simplificada de la realidad. También se puede definir que un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado [6]. Generalmente los modelos de predicción se pueden clasificar en *empíricos* (también llamados estadísticos), *teóricos* (también llamados determinísticos) o una combinación de estos dos (híbridos). Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio.

2.2.1 Modelos determinísticos

Conocidos como modelos teóricos, se basan en los principios fundamentales del medio que se intenta modelar (por ejemplo los principios de la física, si se modelan fenómenos físicos). Pueden ser aplicados en diferentes entornos sin que se vea afectada su precisión. En la práctica la implementación de modelos teóricos requiere enormes bases de datos de características relativas al entorno, las cuales en la práctica son imposibles de obtener en muchos casos, o muy difíciles de obtener. Los algoritmos usados por los modelos teóricos son generalmente muy complejos y computacionalmente poco eficientes. Por esta razón su implementación se restringe a pequeñas áreas. Por el contrario, si su implementación es correcta, proporcionan gran precisión en su predicción, en comparación con los modelos empíricos.

2.2.2 Modelos empíricos

Conocidos como estadísticos, se basan en la extrapolación estadística de resultados a partir de medidas del fenómeno realizadas sobre el terreno. La principal ventaja de este tipo de modelos es que se tienen en cuenta de forma implícita las influencias propias del entorno en su conjunto, sin ser reconocidas cada una de ellas de manera aislada. Por el contrario, su precisión depende no sólo de la precisión de las medidas, si no de la similitud entre el entorno donde fueron llevadas a cabo las medidas y el entorno a analizar.

Los modelos de propagación teóricos y basados en medición indican que la potencia media recibida la señal disminuye logarítmicamente con la distancia [7].

2.2.2.1 Modelo de pérdidas en el trayecto log-distance.

Este modelo es el más referenciado probablemente en la literatura técnica para el modelo de propagación de la señal en las redes inalámbricas. Supone que la potencia media recibida la señal disminuye logarítmicamente con la distancia [6] [7] [8].

$$PL(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (2-7)$$

O

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10 * n * \log_{10}(d/d_0) \quad (2-8)$$

La ecuación ec.(2.8) dada en [7] [9]. Donde d es la distancia entre el transmisor y el receptor, d_0 es la distancia de referencia (normalmente 1 m), que se determina a partir de mediciones cerca del transmisor y n es el factor de atenuación, que indica la velocidad a la que aumenta la pérdida en el trayecto con la distancia d . El valor de n depende del entorno de propagación específico, es decir, el tipo de material de construcción, la arquitectura, la ubicación dentro del edificio. Al bajar el valor de n menor será la pérdida de señal. Los valores de n (Tabla 2.1) oscilan entre 1,2 (efecto de guía de ondas) a 6.

Tabla 2.1: Exponente de pérdidas en el trayecto para diferentes medio ambientes [7]

Medio ambiente	n
Espacio libre	2
Radio celular área urbana	2.7 – 3.5
Radio celular zona sombreada	3 – 5
Línea de vista en construcciones	1.6 – 1.8
Obstrucción en construcciones	4 – 6
Obstrucción en fábricas	2 – 3

2.2.2.2 Modelo de pendiente única (One-slope model)

El modelo de una sola pendiente asume una dependencia lineal entre la pérdida de trayectoria (dB) y el logaritmo de la distancia d entre el transmisor y el receptor. Las pérdidas viene dadas por:

$$P_r (dBm) = P_t (dBm) + G_{TX} (dB) + G_{RX} (dB) - L (dB) - 10 * n * \log_{10}(d) \quad (2-9)$$

Donde P_r es la potencia media recibida (dBm), P_t la potencia transmitida (dBm), G_{TX} y G_{RX} son las ganancias de la antena transmisora y receptora respectivamente, L pérdidas parásitas (dB), d la separación entre el transmisor y receptor en (m) y n índice de atenuación de la señal. La ecuación 2-9 puede simplificarse en la siguiente ecuación [10]:

$$L_p (dB) = L_o + 10 * n * \log_{10}(d) \quad (2-10)$$

Donde L_o son las pérdidas a la distancia de referencia, n es el índice de propagación (exponente de pérdidas en el trayecto) y d es la distancia entre el transmisor y receptor.

El modelo en (2-10) es simple de usar, pero no lo hace adecuadamente considerando las características de propagación del medio ambiente. Una generalización del modelo en (2-10) es el modelo de dos pendientes.

2.2.2.3 Modelo doble pendiente (two-slope model)

Es una variación del modelo anterior, pero ahora el trayecto para la cual se van a calcular las pérdidas de propagación se divide en dos zonas, la primera hasta una distancia d y la segunda a una distancia después de ella, la ecuación que representa éste modelo es [11]:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} L_{o1} + 10 * n1 * \log_{10} d & d \leq d_1 \\ L_{o2} + 10 * n2 * \log_{10} (d/d_1) & d_1 < d \leq d_{max} \end{cases} \quad (2-11)$$

Donde L_{on} son las pérdidas a la distancia de referencia, n es el índice de propagación, d es la distancia entre el transmisor y receptor y d_1 es la distancia de corte [10].

Este modelo es el que se emplea en el desarrollo de este proyecto, en el que se representara la ganancia de propagación (con valores negativos).

El modelo OS (One-Slope model) puede ser aún más generalizado a diferentes tipo de modelos semi empíricos MW (Multi-Wall model).

2.2.2.4 Modelo multi pared (Multi-Wall model)

Es un modelo basado en COST-231, que es un modelo de propagación indoor utilizado en UMTS, es más complicado [12], éste modelo da la pérdida en el espacio libre (LOS) más la adición de las pérdidas introducidas por las paredes y obstáculos. La pérdida introducida por el número de plantas que se atraviesan en el trayecto no es una función lineal y viene dada por un factor b en la siguiente expresión.

$$L(dB) = L_{fs} + L_c + \sum_{i=1}^I K_{wi} * L_{wi} + L_f * K_f^{\frac{K_f+2}{K_f+1} - b} \quad (2-12)$$

Donde

- L_{fs} = son las pérdidas en el espacio libre entre el transmisor y receptor
- L_c = constante de pérdidas (se fija normalmente en 37dB)
- K_{wi} = número de paredes de tipo i que se atraviesan
- K_f = número de plantas distantes
- L_{wi} = pérdida de la pared tipo i
- L_f = pérdida entre paredes consecutivas
- b = parámetro empírico
- I = es el número de tipos de paredes

2.2.2.5 Modelo de atenuación lineal

Es un modelo que asume que el exceso de pérdida depende de la distancia y se expresa con la siguiente expresión:

$$L(dB) = L_{fs} + \alpha * d \quad (2-13)$$

Donde L_{fs} son las pérdidas en el espacio libre entre el transmisor y receptor, α es el coeficiente de atenuación dado en $\left(\frac{dB}{m}\right)$ y d es la distancia entre el transmisor y receptor.

2.3 Pérdidas en el espacio libre

En los apartados anteriores [9] se ha hecho referencia a las pérdidas en el espacio libre y para la expresión (2-10) L_o se calcula a través de la siguiente expresión.

$$L_p \text{ (dB)} = 20 * \log_{10} \left(\frac{4 * \pi * d}{\lambda} \right) \quad (2-14)$$

Aplicando la ecuación (2-14) se puede obtener las pérdidas de propagación para las frecuencias 2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz que son las frecuencias que se emplearon para el desarrollo del proyecto, la distancia entre el transmisor y el receptor era variable y dependía del escenario, para los cálculos consideramos una distancia de 30 m. las pérdidas son representadas en la Figura 2.2 . Un ejemplo de cálculo es para la frecuencia de 2.4 GHz, se tiene una longitud de onda de:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ m}$$

Con este valor de λ los resultados de las pérdidas en el espacio libre se tienen a continuación.

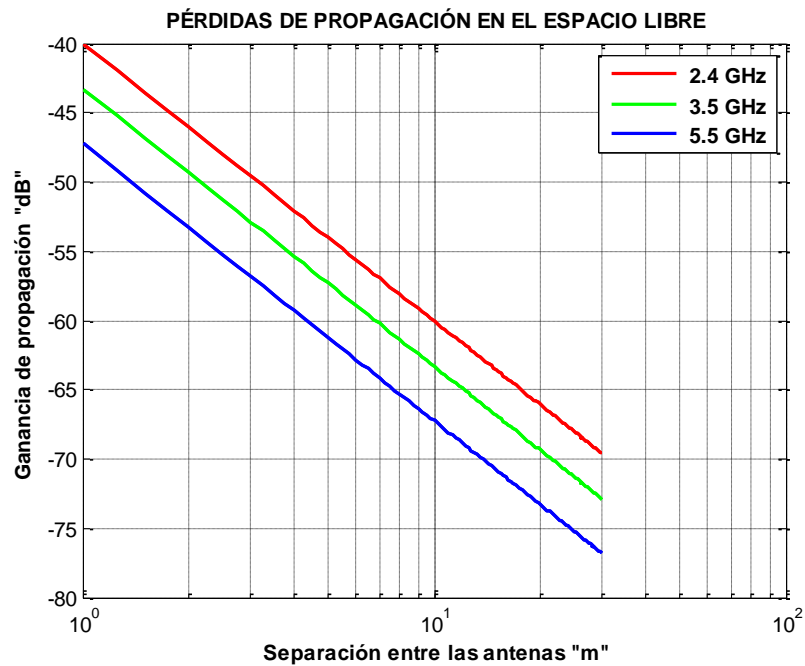


Figura 2.2: Pérdidas en el espacio libre

Capítulo 3

3 Teoría relacionada

Se presentan los conceptos relacionados con el proyecto.

3.1 Redes inalámbricas

En la actualidad, las redes inalámbricas pueden ser competitivas con una red de cable, gracias a los recientes avances en el campo de tecnología inalámbrica. Es así que es muy normal instalar en las redes un gran número de dispositivos inalámbricos como ordenadores, teléfonos móviles, video consolas y muchos otros. La forma de comunicarse es mediante ondas electromagnéticas.

Una de las principales ventajas que presentan las wireless network es que son menos costosas respecto a las redes de cable Ethernet, pero también tienen una desventaja considerable que es la seguridad, por lo que en este tipo de redes se debe disponer una seguridad más exigente y robusta para evitar el ingreso a agentes externos. Para las redes inalámbricas se han elaborado una serie de normas, principalmente en función de su cobertura. A continuación indicaremos las características de dos de ellas. La red de área local inalámbrica (WLAN) o Wi-Fi y la de interoperabilidad a nivel mundial para acceso por microondas (WiMAX).

3.1.1 Wi-Fi

Las redes Wi-Fi (Wireless Fidelity) conocidas como 802.11, utilizan tecnologías de radio para proporcionar conectividad inalámbrica segura, fiable, rápido. Una red Wi-Fi se puede utilizar para conectar dispositivos electrónicos entre sí, a través de Internet, y las redes de cable que utilizan la tecnología Ethernet. Las redes Wi-Fi funcionan en las bandas de radio asigna la licencia libre del espectro de 2.4 GHz (2.40 a 2.48 GHz), 5.2 GHz (5.15-5.35GHz) y 5.8 GHz (5.725 a 5.825 GHz) de 2.4 GHz y 5 GHz, con algunos productos que contengan las dos bandas (banda dual). Ellos pueden proporcionar el rendimiento real similar a las redes cableadas básicas. Wi-Fi es la conectividad en casa, permite conectarnos a Internet o con la oficina desde una tienda del aeropuerto o café, manteniendo la productividad aun estando lejos [14].

La Tabla 3.1 presenta las generaciones de Wi-Fi, cada generación define un conjunto de características que se relacionan con el rendimiento, la frecuencia y el ancho de banda. Cada generación también promueve mejoras en la seguridad y puede incluir otras características que los fabricantes decidan implementar.

Tabla 3.1: Tecnologías Wi-Fi [14]

Wi-Fi Technology	Frequency Band	Bandwidth or maximum data rate
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
802.11n	2.4 GHz , 5GHz 2.4 or 5 GHz (selectable), or 2.4 and 5 GHz (concurrent)	450 Mbps

3.1.2 WiMax

WiMAX (Worldwide Inperoperability for Microwave Access), basado en el estándar IEEE 802.16, ha sido evaluada por las empresas para la conectividad de última milla, que puede llegar a un teórico de hasta 30 millas radio de cobertura. El WiMAX Forum ha publicado tres perfiles de licencias de espectro, es decir, el 2.3 (2.3 a 2.4 GHz), 2.5 GHz (2.495 a 2.69 GHz) y 3.5 GHz (3.5 a 3.6 GHz) las misma que puede variar dependiendo de las políticas de telecomunicaciones en cada país. El estándar WiMax tiene la ventaja de permitir conexiones inalámbricas entre un transceptor de la estación base y miles de abonados sin que éstos tengan que estar en línea de visibilidad (LOS) directa con esa estación. Esta tecnología se denomina NLOS que significa sin línea de visibilidad. En realidad, WiMAX sólo puede eludir obstáculos pequeños, como árboles o una casa y no puede atravesar montañas ni edificios altos. Cuando se presentan obstáculos, el rendimiento total real puede ser inferior a 20 Mbps [15].

Tabla 3.2: Estándar Wi-Max [15]

Standard	Frequency Band	Bandwidth or maximum data rate
Wi-Max fijo (802.16 -2004)	2 – 11 GHz (3.5 GHz Europa) Licencia: 2.5 GHz – 3.5 GHz No licencia: 5.8 GHz	75 Mbps
Wi-Max móvil (802.16e)	2 – 6 GHz	30 Mbps

3.2 Teoría de antenas

Como en todo proceso no solo es necesario contar con las variables a medir, sino también tener el instrumental y equipo adecuado para poder determinar el comportamiento de la variable y así poder tener un criterio de la realidad. En la campaña de medidas tampoco es la excepción, al trabajar con energía electromagnética debemos asegurarnos de que llegue al receptor la mayor cantidad de intensidad de la señal. En éste caso las antenas juegan un papel muy importante dentro de este proceso de toma de datos, para tener una aceptabilidad en las medidas. Las antenas utilizadas en el proyecto trabajan en las bandas UHF (ondas radio) y SHF (microondas) que caracterizan las tecnologías WiFi y WiMAX y son el rango de frecuencias donde van a trabajar nuestras antenas: 2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz.

3.2.1 Antenas, definición

Es un transductor entre el medio guiado y el medio radiado. Región de transición entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre, es decir, aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE Std. 145-1983) [16].

Lo que interesa es que la antena tenga un buen rendimiento como transmisora/receptora. El tipo de antena a utilizar en este proyecto es la planar o panel, la cual se utiliza para enlaces de corto alcance, pero son mucho más fáciles de orientar y además suelen ser pequeñas y de instalación sencilla. Éste tipo de antena corresponde al grupo de las direccionales.

El alcance de una antena direccional está determinado en dBi de ganancia de la antena, que es una combinación de la potencia de emisión en el punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción en el punto de acceso al receptor.

Existen varias características importantes de una antena que deben de ser consideradas al momento de elegir una específica para su aplicación [17]:

- Patrón de radiación
- Ganancia
- Directividad
- Polarización

3.2.1.1 Diagrama de radiación

Se definen como una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena (intensidad de radiación, amplitud y fase de los campos, etc) en función de las coordenadas direccionales del espacio.

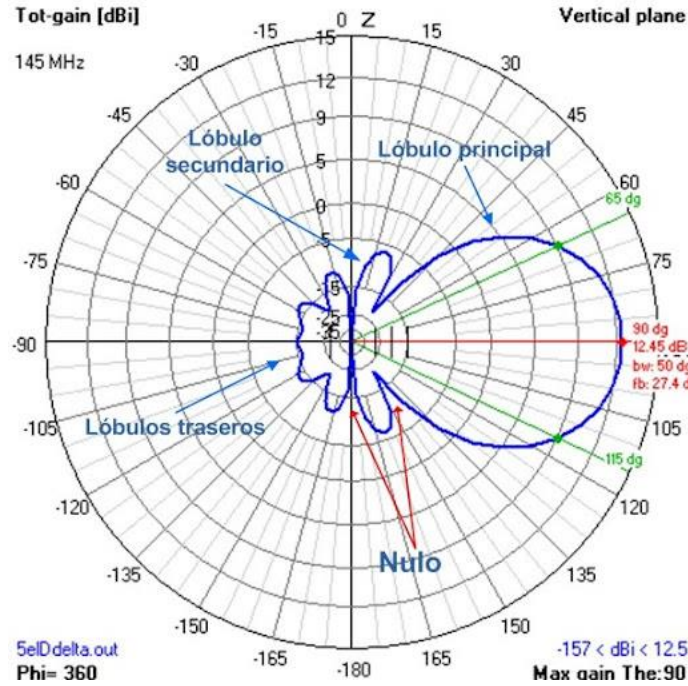


Figura 3.1: Diagrama de radiación de una antena tipo panel [18]

3.2.1.2 Intensidad de radiación

Potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección, es independiente de la distancia a la cual se encuentra la antena.

$$K(\theta, \phi) = P(\theta, \phi)r^2 \quad [W/Sr] \quad (3-1)$$

3.2.1.3 Ganancia

La ganancia de una antena es la relación entre la potencia que entra en una antena y la potencia que sale de esta. Esta ganancia es comúnmente referida en dBi, se refiere a la comparación de cuanta energía sale de la antena en cuestión, comparada con la que saldría de una antena isotrópica. Una antena isotrópica es aquella que cuenta con un patrón de radiación esférico perfecto y una ganancia lineal unitaria [16].

$$G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi)\eta \quad (3-2)$$

La eficiencia se puede definir como la relación entre la potencia radiada por una antena y la potencia entregada a la misma. La eficiencia es un número comprendido entre 0 y 1. La relación entre la ganancia y la directividad es la eficiencia.

3.2.1.4 Directividad

La directividad es posiblemente el parámetro de mayor importancia a la hora de analizar un patrón de radiación de una antena, es una medida de sus propiedades direccionales. Es decir es una medida de la concentración de la potencia radiada en una dirección particular. Se puede entender también como la habilidad de la antena para direccionar la energía radiada en una dirección específica. Es usualmente una relación de intensidad de radiación en una dirección particular en comparación a la intensidad promedio isotrópica [16].

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_t}{4\pi r^2}} \quad (3-3)$$

3.2.1.5 Polarización

Es la orientación de las ondas electromagnéticas al salir de la antena. Hay dos tipos básicos de polarización que aplican a las antenas, como son Lineal (vertical, horizontal y oblicua) y circular (circular derecha, circular izquierda, elíptica derecha y elíptica izquierda). Éste parámetro es muy importante si se quiere obtener el máximo rendimiento de la antena. La antena transmisora debe tener la misma polaridad de la antena receptora para máximo rendimiento. [16]

3.2.1.6 Densidad de potencia radiada

Es la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son W/m^2 . Se puede calcular a partir de los valores de los campos como:

$$\vec{P}(\theta, \phi) = Re(\vec{E} * \vec{H}) \quad (3-4)$$

La densidad de potencia radiada también se puede calcular a partir de las dos componentes del campo eléctrico:

$$\vec{P}(\theta, \phi) = \frac{E_\theta^2 + E_\phi^2}{\eta} \quad , \quad \eta = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|} \quad (3-5)$$

Donde η es la impedancia del medio $120\pi\Omega$.

3.2.1.7 Ancho de banda

Todas las antenas, debido a su geometría finita, están limitadas a operar satisfactoriamente en una banda o margen de frecuencias. Este intervalo de frecuencias, en el que un parámetro de la antena

determinada no sobrepasa unos límites prefijados, se conoce como el ancho de banda de la antena (BW).

3.2.2 Regiones de radiación

Los campos que rodean a la antena, se dividen en tres regiones principales tal como se muestra en la Figura 3.2:

- Reactivo de campo cercano (Near Field)
- Radiación de campo cercano o región de Fresnel
- Campo lejano o región Fraunhofer

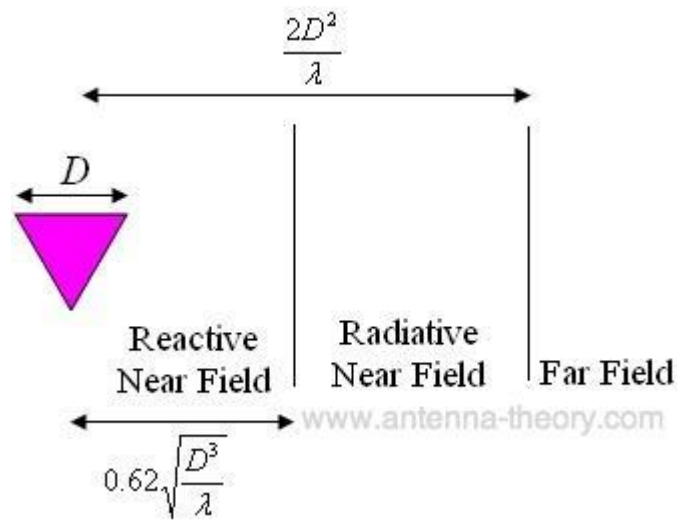


Figura 3.2: Regiones de radiación de una antena [19]

3.2.2.1 Región reactiva

Los campos son predominantes, los campos \vec{E} y \vec{H} están fuera de fase de 90° , el límite de esta región se da:

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (3-6)$$

3.2.2.2 Radiación de campo cercano o Región de Fresnel

Es la región entre los campos cercanos y lejanos. En esta región, los campos reactivos no son dominantes, los campos de radiación comienzan a emerger, aquí la forma del diagrama de radiación puede variar considerablemente con la distancia. La ecuación que determina esta región es:

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} < R < \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3-7)$$

3.2.2.3 Región Campo Lejano o Región Fraunhofer

En esta región, el patrón de radiación no cambia de forma con la distancia. Esta región está dominada por los campos electromagnéticos, con \vec{E} y \vec{H} como campos ortogonales entre sí y la dirección de propagación como ondas planas. La región de campo lejano es el más importante, ya que esto determina el patrón de radiación de la antena. Si la mayor dimensión lineal de una antena es D , entonces la región de campo lejano está dado por:

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3-8)$$

3.3 Distribución de probabilidad

3.3.1 Función de distribución acumulativa

En la teoría de probabilidades y estadísticas [20], la función de distribución acumulativa (FDA), o simplemente función de distribución, describe la probabilidad de que un valor real variable aleatoria X con una determinada distribución de probabilidad se encontrará en un valor menor o igual que x . Intuitivamente, es el área "hasta ahora" en función de la distribución de probabilidad. Funciones de distribución acumulativa también se utilizan para especificar la distribución de múltiples variables aleatorias.

$$F(x) = P\{w: -\infty < X(w) \leq x\} = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx \quad (3-9)$$

Una gráfica empleado para representar una función de probabilidad es el histograma, que consiste en representar una función las probabilidades como áreas Figura 3.3.

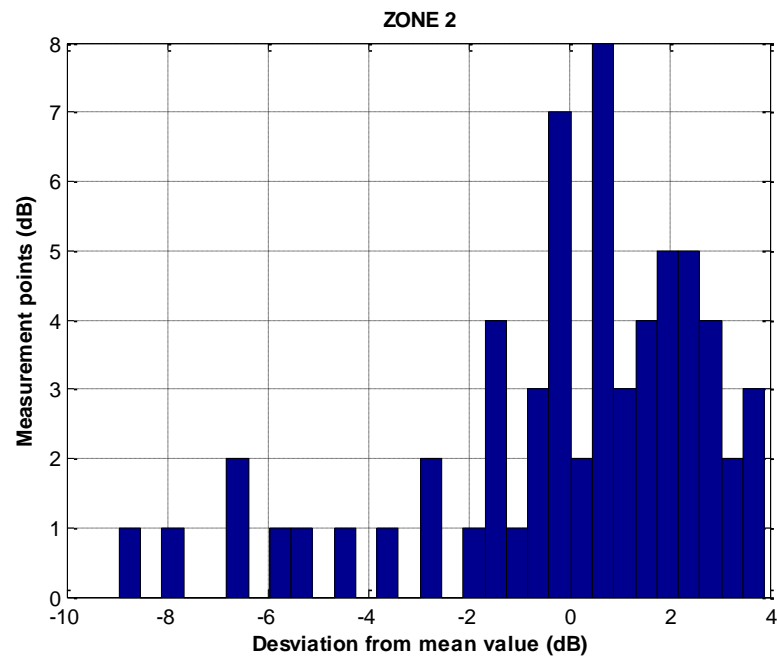


Figura 3.3: Ejemplo de histograma

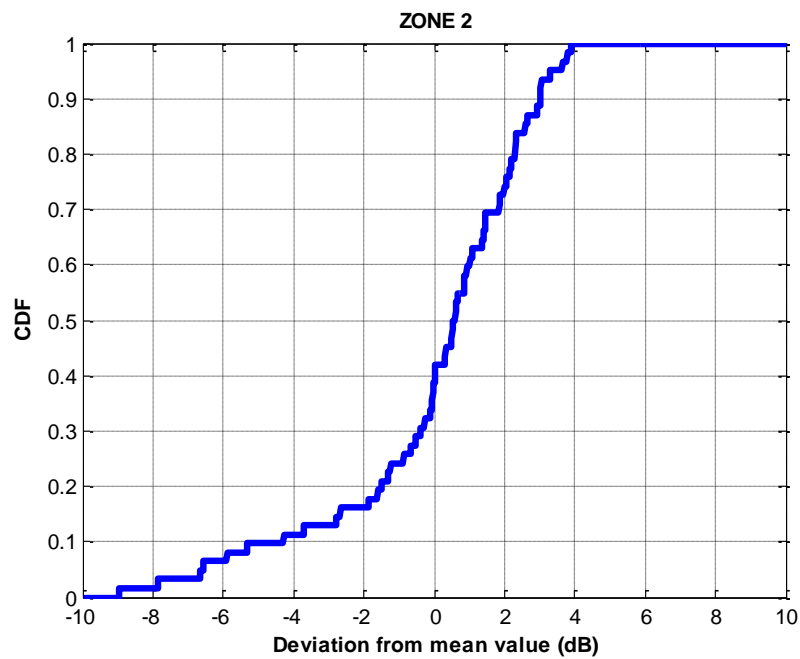


Figura 3.4: Función distribución acumulativa

En la Figura 3.4 se puede observar que, a los valores extremadamente bajos les corresponden valores de la función de distribución cercanos a cero. Mientras que a los valores extremadamente altos les corresponden valores de la función de distribución cercanos a uno. La gráfica es tipo S escalonada.

3.4 Balance del enlace

El balance de un enlace es la relación que expresa la potencia disponible en el receptor en función de la potencia entregada por el transmisor y las diferentes pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto del transmisor al receptor [10], matemáticamente se expresa por la siguiente expresión:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{At_{Rx}} + G_{At_{Tx}} - L_p - L_c \quad (3-10)$$

Donde P_{Rx} (dBm) es la potencia disponible en el receptor. P_{Tx} (dBm) potencia entregada por el transmisor. $G_{At_{Rx}}$ (dB) y $G_{At_{Tx}}$ (dB) ganancia de las antenas receptora y transmisora respectivamente. L_p (dB) pérdida de propagación y L_c (dB) pérdida introducida por los cables.

Para este proyecto, las ganancias de las antenas es un valor conocido, L_c se obtiene como se indica en el ítem 4.3 referente a la calibración. Por lo tanto la expresión que se emplea en este proyecto es:

$$L_p = P_{Tx} - P_{Rx} + G_{At_{Rx}} + G_{At_{Tx}} - L_c \quad (3-11)$$

Capítulo 4

4 Preparación para la Campaña de Medidas

En este capítulo se describe el equipamiento utilizado en la campaña de medición y el entorno medido, para su posterior calibración de los equipos a utilizar y la forma de proceder a las mediciones y la forma de representación de los datos.

4.1 Análisis del material

Primeramente se determinó el equipo necesario para la realización del estudio y poder caracterizar de manera práctica al canal estrecho en las bandas de 2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz en entornos indoor, y poder así obtener unas medidas con datos fiables. El material utilizado se presenta a continuación.

La Figura 4.1 muestra los equipos de medida y las antenas empleadas y el cable coaxial para la conexión entre los equipos y las antenas



Figura 4.1: Equipo empleado en la campaña de medidas



Figura 4.2: Antenas y pedestales empleados

La Figura 4.2 indica las antenas directivas y son del tipo panel las mismas que están en sus pedestales regulados a 1.5 m de altura.

Las mediciones se realizaron en el plano de frecuencia utilizando un Analizador de Espectros Anritsu MS2717B con el que se determinó las pérdidas del nivel de intensidad de la señal en la antena receptora cuando se emitía una señal de un Generador de señales Rohde&Schwarz SMB 100A a distintas frecuencias con un nivel de potencia de 10 dBm. A continuación se describe cada uno de los equipos empleados.

4.1.1 Antenas

Las antenas son los elementos más importantes, considerados en cualquier enlace de comunicaciones, puesto que estas pueden afectar de diversas formas los resultados en cada escenario. Por lo que es necesario considerar ciertos parámetros de las antenas como son ganancia y reflexión de las antenas a emplear con el propósito de que los datos sean independientes de los dispositivos.

Se han utilizada 3 pares de antenas del tipo panel, las cuales trabajan en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz, 3.3 GHz y 5.5 GHz las mismas que están en el rango para la caracterización del canal estrecho para los sistemas WiFi y Wimax.



Figura 4.3: Antenas del tipo panel

Las antenas empleadas para este proyecto corresponden al laboratorio del grupo de RFCAS, y son comerciales distribuidas por empresas como son: TWIN distribuye las antenas de 2.4 GHz y 3.3 GHz. Mientras que la de 5.5 GHz es distribuida por L-Com.

4.1.1.1 Características de las antenas empleadas

A continuación se presenta un cuadro comparativo en Tabla 4.1 la de las antenas empleadas en el proyecto.

Tabla 4.1: Características de las antenas panel

Frecuencia (GHz)	Banda de trabajo (MHz)	Tipo Polarización V - H	Ganancia (dBi)
2.4	2400 - 2500	V / H	13
3.3	3300 – 3400	V / H	13
5.5	5470 - 5850	V / H	15

4.1.2 Cables

El cable empleado es el tipo RG402U, que tiene una impedancia de 50Ω , también es un cable preparado con conectores tipo SMA y tipo N para radio frecuencia, el cable tiene una longitud total de 8. 4 m. distribuidos de dos tramas uno 5.4 m y otro de 3m. propiedad del grupo RFCAS. El cable presenta una atenuación variable para cada frecuencia, la siguiente Tabla 4.2 muestra la pérdida introducida por los cables:

Tabla 4.2: Pérdidas introducidas por los cables

Frecuencia (GHz)	Pérdida en los Cables (dB)
2.4	8.71
3.3	10.02
5.5	14.66

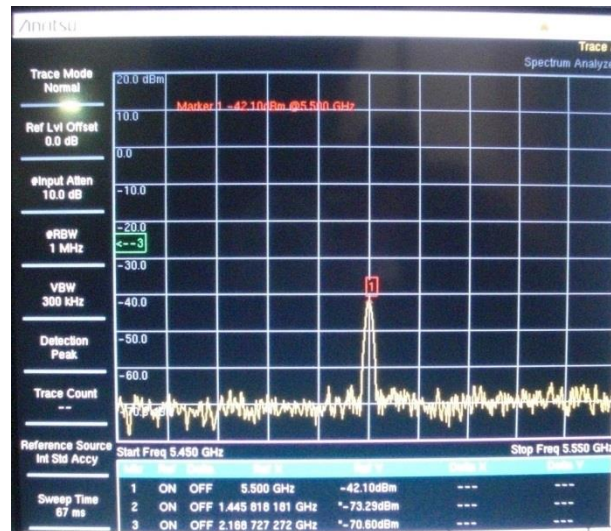


Figura 4.4: Determinación de la atenuación del cable

4.1.3 Analizador de espectros

El analizador de espectros Anritsu MS2717B, está diseñado para ser una solución asequible para pruebas de componentes en bancos de microondas. Este equipo de medida en conjunto con el generador de señal nos permite tener entornos reales en enlaces de corta y larga distancia sin ningún problema, trabajando en un rango de 9 KHz a 7.1 GHz. Además permite almacenar los datos de las medidas que se realicen para lo cual dispone de un puerto USB.



Figura 4.5: Analizador de espectro Anritsu MS2717B

4.1.4 Generador de señales

Son de bastante utilidad para el desarrollo, producción y servicio, por lo tanto se hacen necesarios cuando se trata de analizar comportamientos en los escenarios para distancias largas,

el analizador utilizado en este proyecto es Rohde & Schwarz SMB100A el cual tiene un rango de generación de 9 KHz a 6 GHz con un nivel máximo de potencia de 25 dBm.



Figura 4.6: Generador de señales Rohde & Schwarz SMB100A

4.1.5 Medidor laser

Empleado para fijar tanto la altura de ubicación de las antenas y la distancia de desplazamiento de la antena receptora a lo largo del enlace, y así poder alinear correctamente la antena receptora con respecto a la antena transmisora durante todo el radioenlace. El modelo de éste medidor laser es Bosch DLE40.

El medidor laser proporciona una precisión en las medidas de las distancias al momento de tener tanto la antena transmisora y receptora enfocadas directamente de ± 1.5 mm, lo que sería casi imposible conseguir con un metro convencional, de tal manera aseguramos que las distancias sean las indicadas.



Figura 4.7: Medidor de distancia Bosch DLE40

4.2 Escenarios

La campaña de medidas se desarrolló en los edificios A, B y C de la Escuela Politécnica Superior de la UAM, los escenarios seleccionados son considerando las características de infraestructura, para poder así determinar el comportamiento de la señal en escenarios indoor con diferentes entornos, es decir, en pasillos amplios y estrechos en los que se podrían observar diferentes fenómenos que pueden alterar a los datos esperados, como es la presencia de puertas, paredes y ventanas.

4.3 Calibración

Con los equipos necesarios en los escenarios, antes de realizar las medidas, se debe medir la potencia de la señal recibida en el analizador de espectro para utilizarla como referencia después en el proceso de obtención de datos.

Por lo que primeramente se conecta directamente el generador de señales Rohde & Schwarz SMB100A y el analizador de espectros Anritsu MS2717B a través del cable coaxial tal como se muestra en la Figura 4.8, para realizar esto se debe seguir los siguientes pasos:

En el generador de señales se debe configurar los siguientes requerimientos: Primeramente seleccionamos la frecuencia de trabajo por ejemplo 2.4 GHz que es la frecuencia de una de las antenas utilizadas en el presente proyecto y después seleccionamos el nivel de potencia de transmisión que para nuestro caso se ha trabajado con 10 dBm y observar que se encuentre habilitado el modo RF (RF – On).

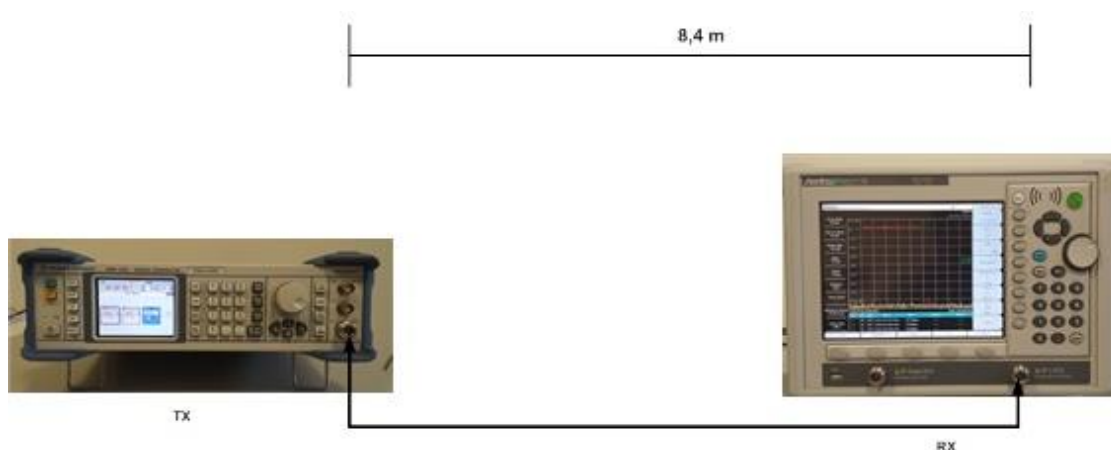


Figura 4.8: Determinación de las pérdidas por el cable

En el analizador de espectros, para la calibración seleccionamos primeramente la frecuencia a la que va a emitir el generador de señales, para el ejemplo seleccionamos el valor de la frecuencia central a 2.4 GHz, un Start Freq en 2.350 GHz y un Stop Freq en 2.450 GHz. A continuación

seleccionamos en la función de Ancho de Banda BW los siguientes parámetros RBW en 10 KHz y un VBW en 10 KHz, con estos datos se tendrá un tiempo de barrido Sweep Time de 2.988 seg., el resto de opciones lo dejamos por defecto. Y finalmente procedemos a seleccionar el nivel de referencia en la función Amplitud en 10 dBm. La Tabla 4.3 muestra un resumen de los datos más importantes a calibrar antes de la toma de medidas.

Tabla 4.3: Parámetros que se utilizan para calibrar

Measurement set up	
Carrier frequency (GHz)	2.4
Band width (KHz)	10
Transmit power (dBm)	10
Tx antenna height (m)	1.5
Rx antenna height (m)	1.5

Una vez seleccionado los parámetros anteriores comprobamos la potencia recibida en el analizador de espectros, la cual se utilizará como referencia como se indicó anteriormente.

4.4 Toma de datos

Luego de haber realizado la puesta en marcha de los parámetros tanto en el generador de señales como en el analizador de espectros, que son pasos muy importantes a la hora de realizar la toma de medidas, procedemos a conectar el generador a la antena transmisora la cual va a actuar como una estación fija y el analizador de espectros a la receptora la misma que va a ser la estación móvil tal como se muestra en la Figura 4.9 , partiendo de una distancia mínima de 1 metro, considerada como la distancia a la cual estamos fuera del campo lejano de la antena, una vez fijada la distancia y con la potencia de transmisión fijada en 10 dBm se procede a medir y apuntar el valor de pico (que corresponde a la frecuencia a la que transmite el generador) , una vez tomado el dato a esa distancia procedemos a desplazar la antena receptora a distancias regulares de 0.25 m. hasta una distancia en donde se considere que la señal se ha atenuado lo suficientemente y vamos tomando lectura de esos datos.

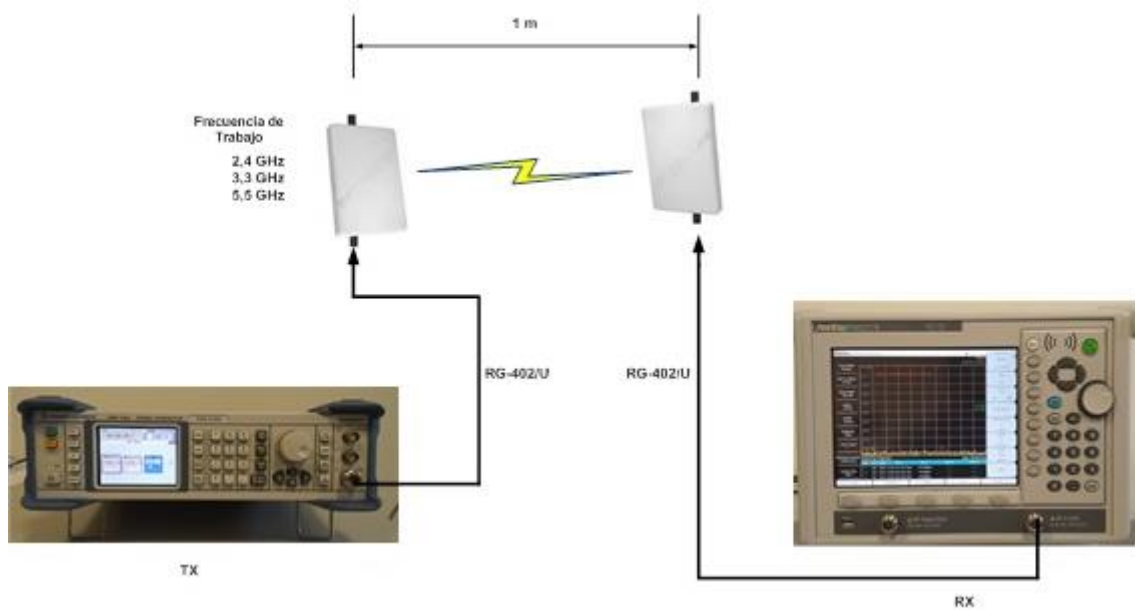


Figura 4.9: Conexión de equipos y antenas a la distancia de referencia.

Finalmente con los datos obtenidos de los diferentes escenarios y a distintas frecuencias de trabajo, tanto para polarización vertical como horizontal se procesan los datos en una hoja de Excel o la ingresamos en los programas desarrollados en Matlab para realizar y analizar el comportamiento de la señal y así obtener las gráficas correspondientes.

Las gráficas obtenidas de los resultados serán presentadas en forma logarítmica debido a que se ajusta de mejor manera a una recta y se obtiene un modelo mucho más fiable. La Figura 4.10 muestra un ejemplo de éste tipo de representación.

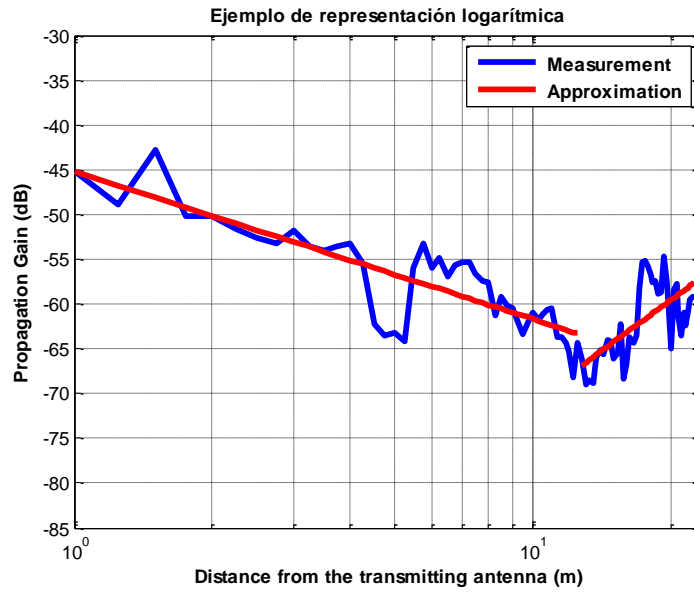


Figura 4.10: Ejemplo de representación logarítmica

Dentro de la interpretación de los datos, también se presentan la desviación de los datos respecto al valor medio, por medio de la función de distribución acumulativa (Figura 4.11) para cada una de las zonas.

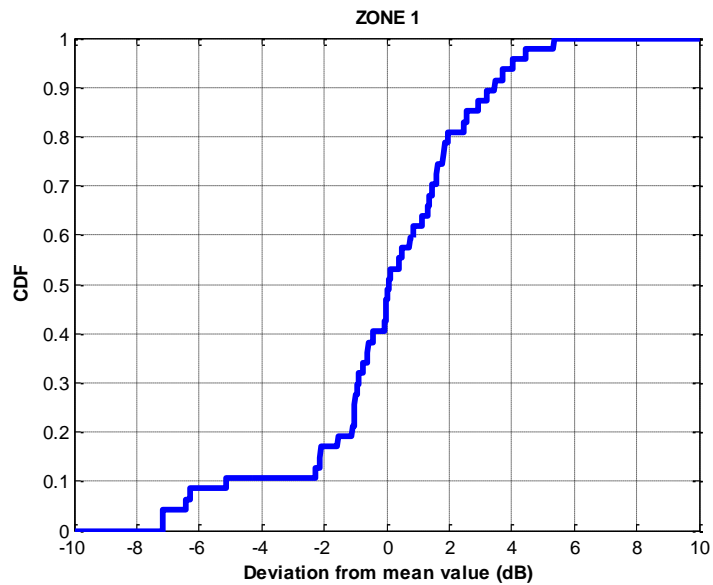


Figura 4.11: Ejemplo de CDF

Todo el equipo e instrumental empleado para el desarrollo del presente proyecto es parte del grupo de RFCAS de la EPS.

Capítulo 5

5 Campaña de Medidas

Las mediciones reportadas aquí se llevaron a cabo en los diferentes pasillos y corredores (interiores) de los edificios A, B y C de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid.

Análisis y representación gráfica de los datos obtenidos

5.1 Escenarios en el Edificio C

5.1.1 Escenario 1 Pasillo de los laboratorios C103 – C111.

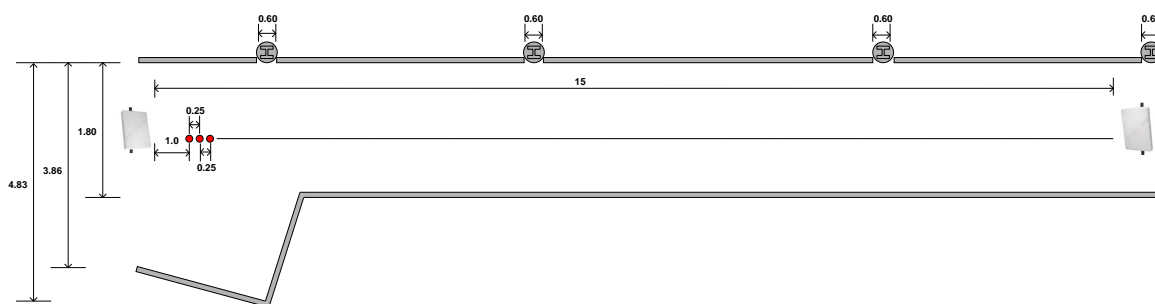


Figura 5.1: Plano del pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C

5.1.1.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo a distancias desde 1 metro hasta 22.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 22.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.2: Foto pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C

Polarización Vertical

La Figura 5.3, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

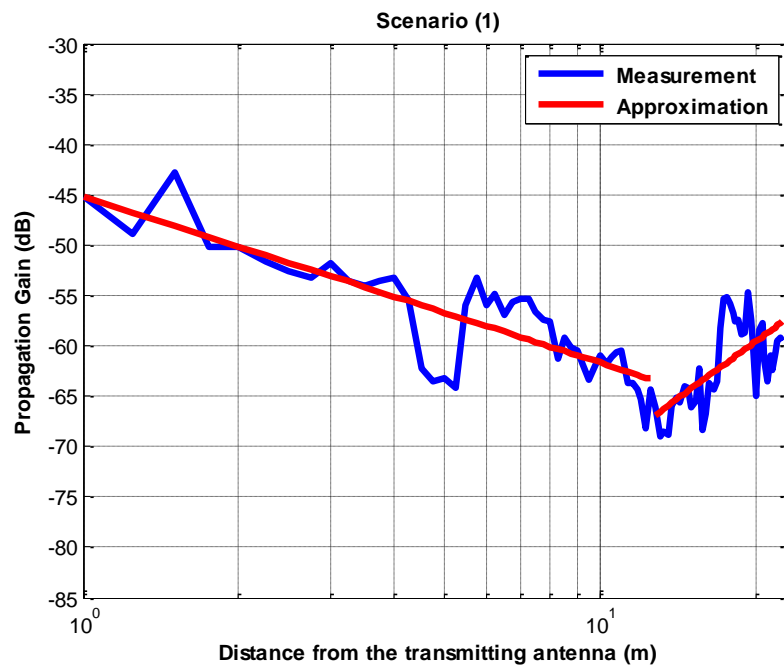


Figura 5.3: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.6528$ que es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -3.7459$.

Tabla 5.1: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-45.15	1.6528	12.75
-66.83	-3.7459	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 45.15 + 16.53 * \log_{10} d & d \leq 12.75 \text{ m} \\ 66.83 - 37.46 * \log_{10} (d/12.75) & d > 12.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.4 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

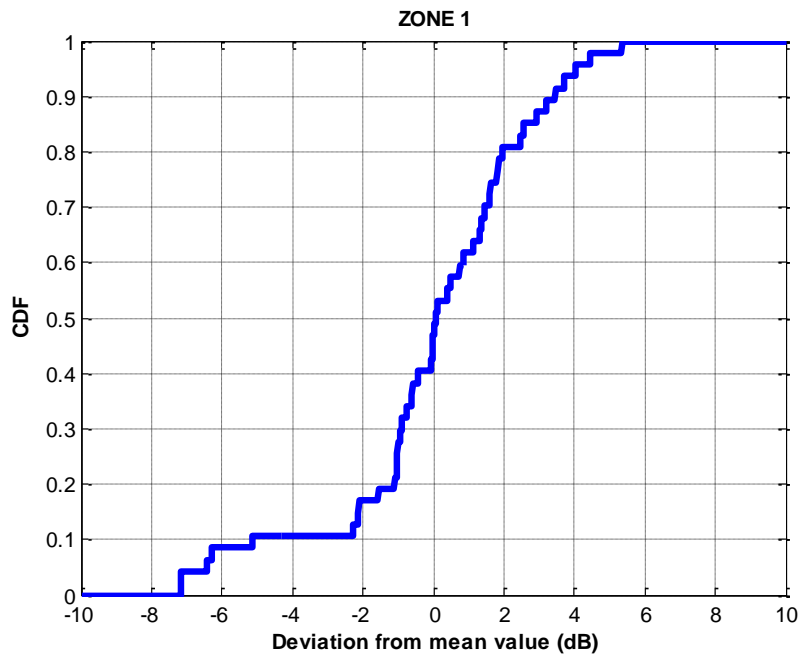


Figura 5.4: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -7 a 5 dB en la zona 1.

La Figura 5.5 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

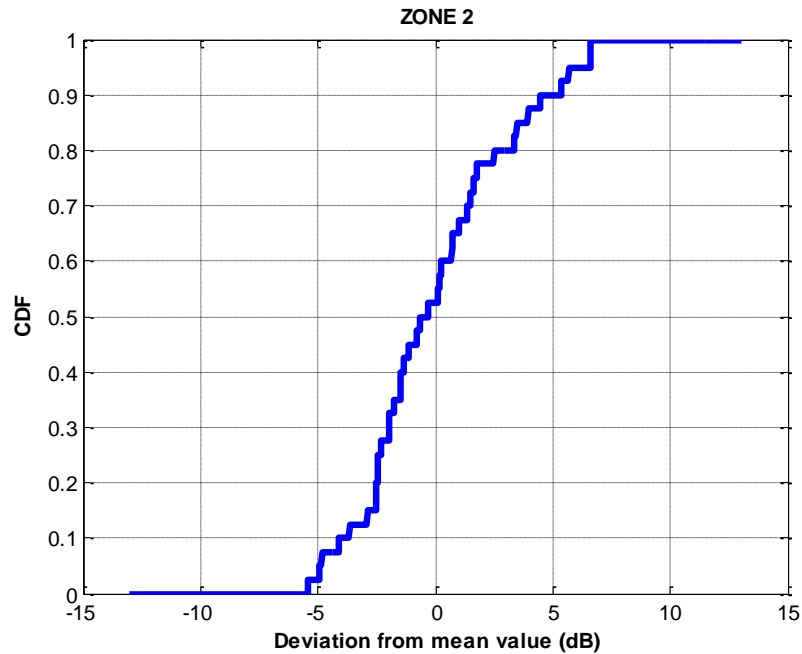


Figura 5.5: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -5.5 a 6.5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.6, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

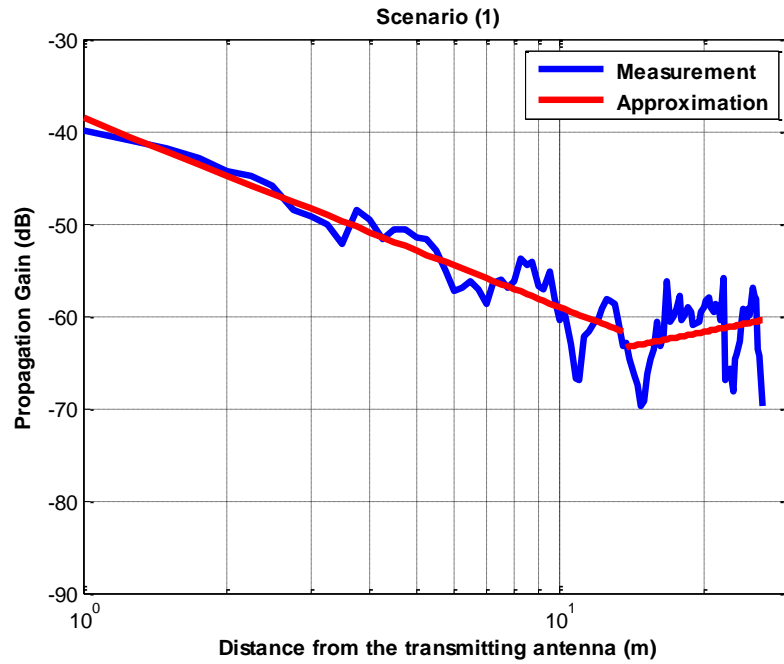


Figura 5.6: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.049$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -1.014$.

Tabla 5.2: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-38.58	2.049	13.75
-63.37	-1.014	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 38.58 + 20.48 * \log_{10} d & d \leq 13.75 \text{ m} \\ 63.37 - 10.14 * \log_{10} (d/13.75) & d > 13.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.7, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

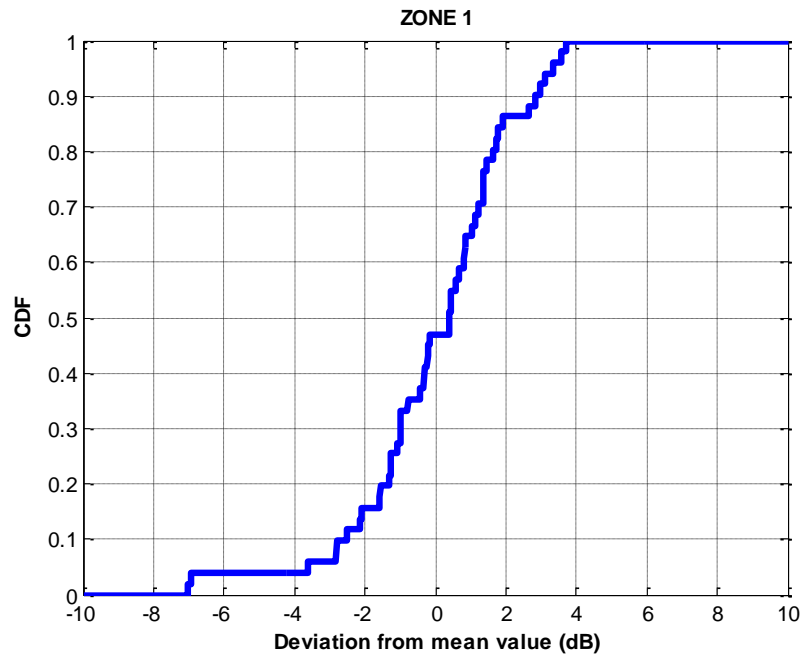


Figura 5.7: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -7 a 3.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.8 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

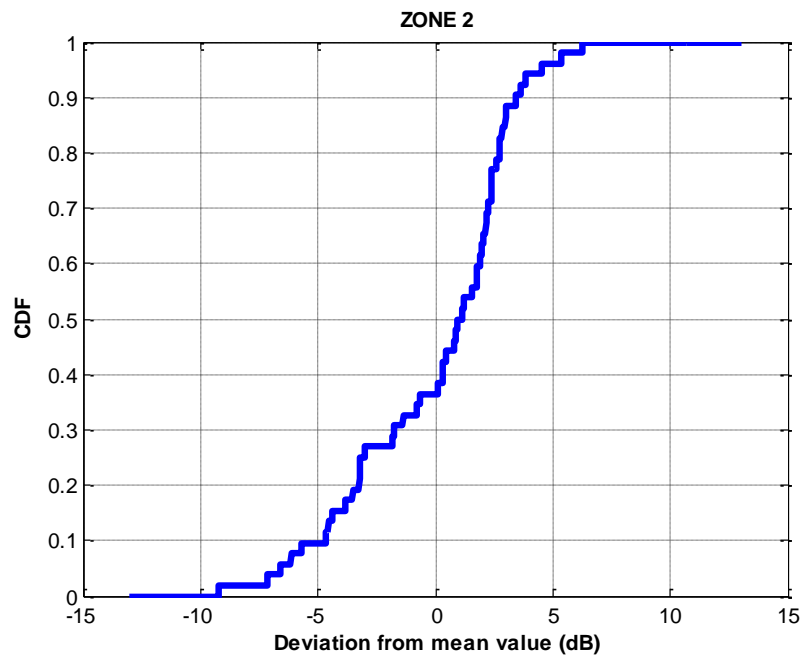


Figura 5.8: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -9 a 6.2 dB en la zona 2.

5.1.1.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo a distancias desde 1 metro hasta 20.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 20.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.9: Foto pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.10, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

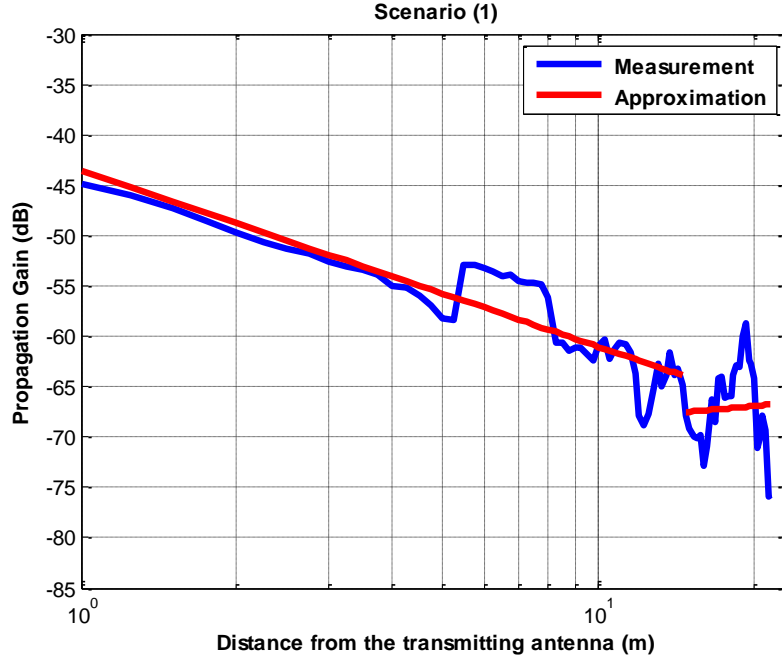


Figura 5.10: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.7509$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -0.4461$.

Tabla 5.3: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-43.5401	1.7509	14.75
-67.51	-0.4461	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 43.54 + 17.51 * \log_{10} d & d \leq 14.75 \text{ m} \\ 67.51 - 4.5 * \log_{10} (d/14.75) & d > 14.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.11, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

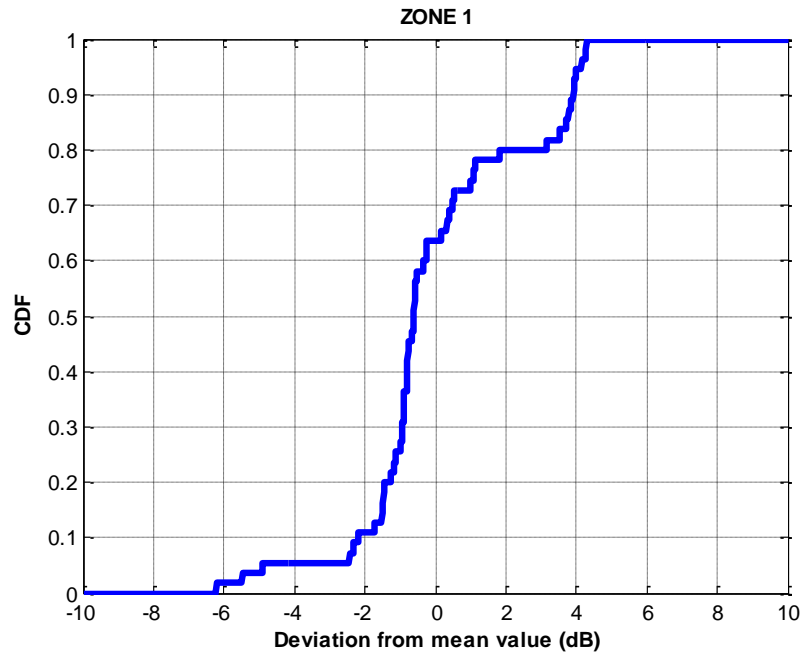


Figura 5.11: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -6.2 a 4 dB en la zona 1.

La Figura 5.12 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

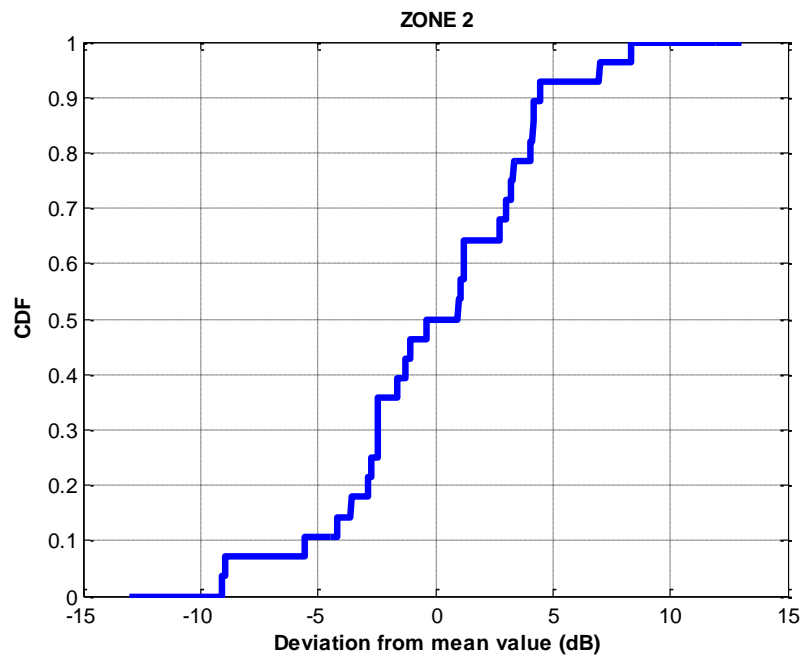


Figura 5.12: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -9 a 8 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.13, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

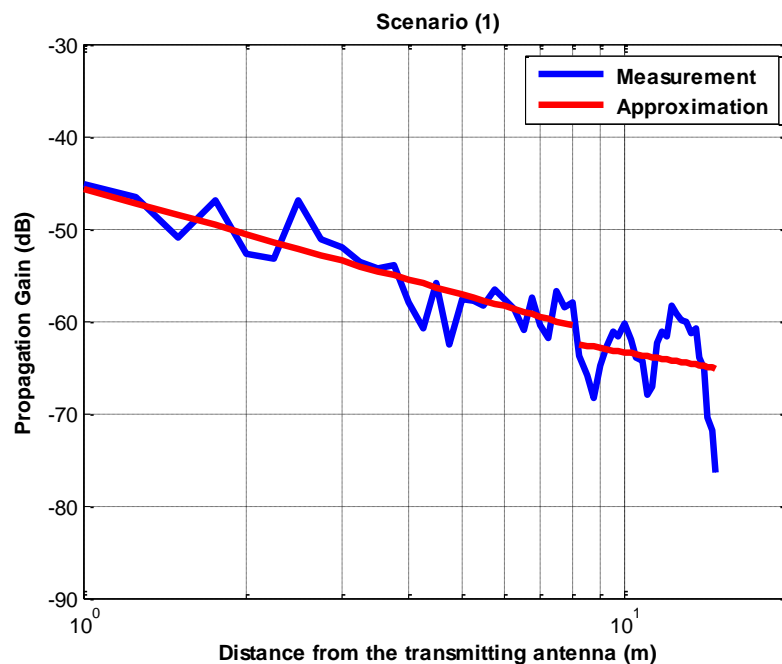


Figura 5.13: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.642$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.022$ siendo este inferior al exponente de propagación del caso de las pérdidas por el espacio libre.

Como se puede ver, hasta 8.25 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 8.25 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.4: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-45.63	1.642	8.25
-62.54	1.022	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 45.63 + 16.42 * \log_{10} d & d \leq 8.25 \text{ m} \\ 62.54 + 10.22 * \log_{10} (d/8.25) & d > 8.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.14, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

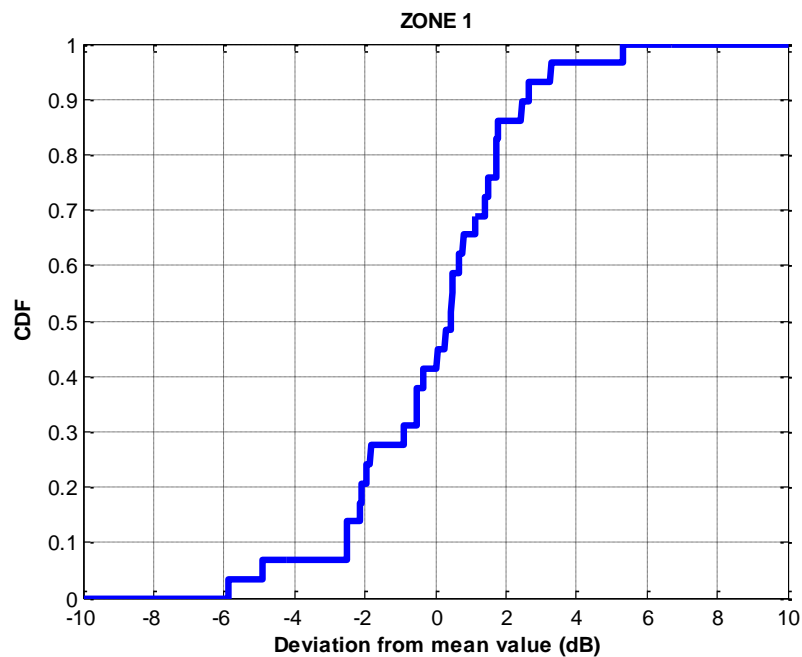


Figura 5.14 : CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -5.9 a 5.7 dB en la zona 1

La Figura 5.15 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

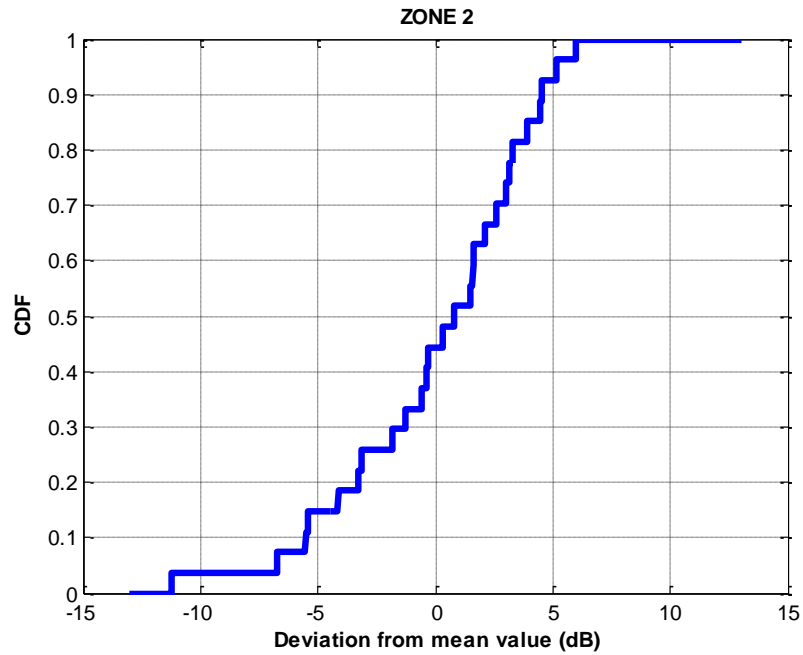


Figura 5.15: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -11 a 6 dB en la zona 2.

5.1.1.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 17.25 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 17.25 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.16: Foto pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.17, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

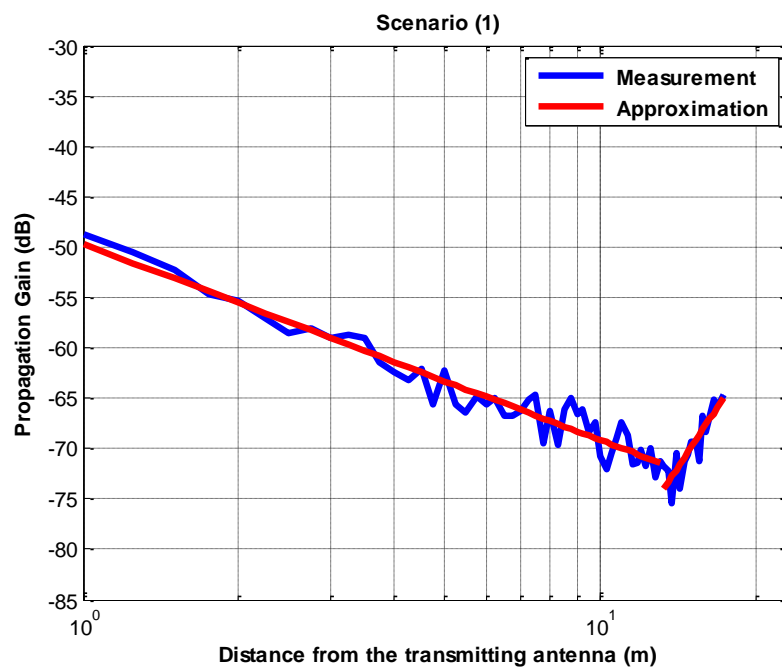


Figura 5.17: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9486$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -7.88$.

Tabla 5.5: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-49.69	1.949	13.25
-74.02	-7.88	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 49.69 + 19.49 * \log_{10} d & d \leq 13.25 \text{ m} \\ 74.02 - 78.8 * \log_{10} (d/13.25) & d > 13.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.18, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

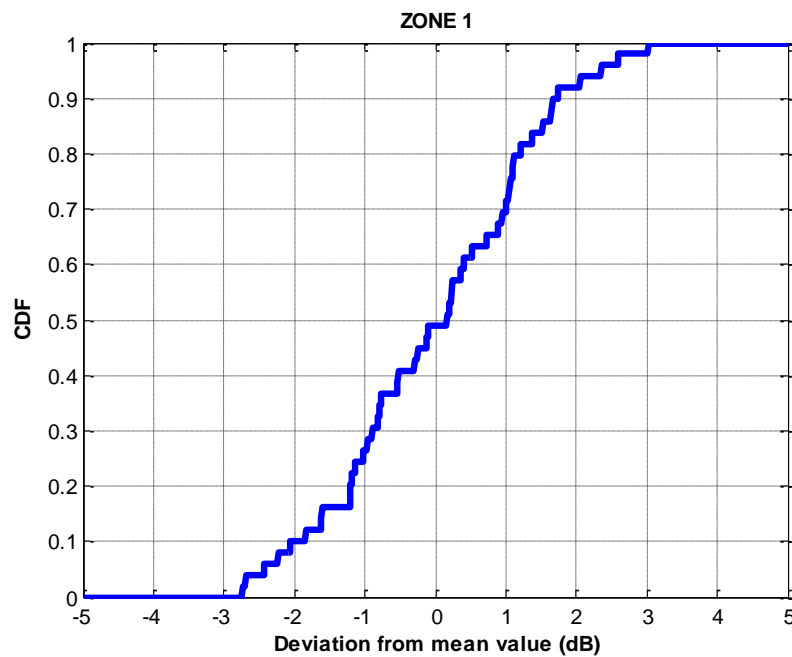


Figura 5.18: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.75 a 3 dB en la zona 1.

La Figura 5.19 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

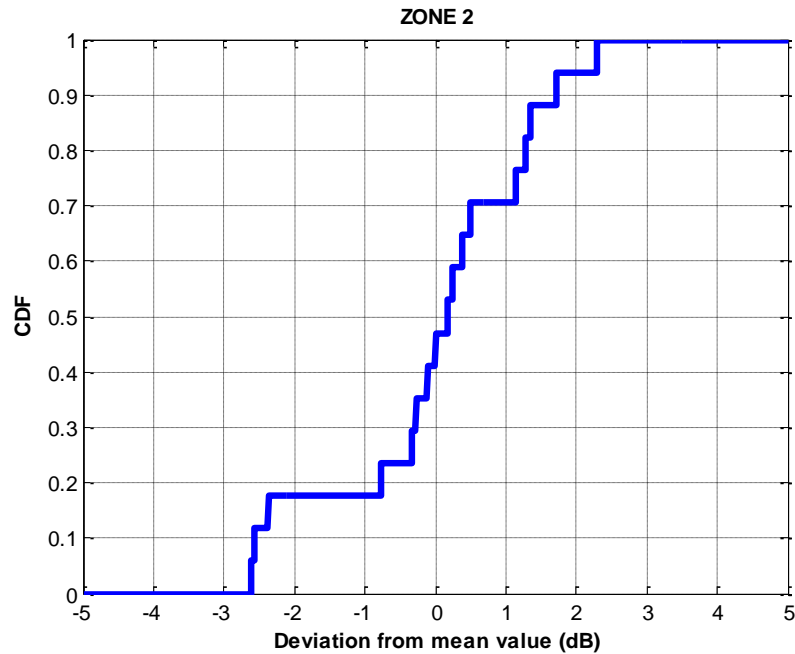


Figura 5.19: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -2.6 a 2.3 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.20, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

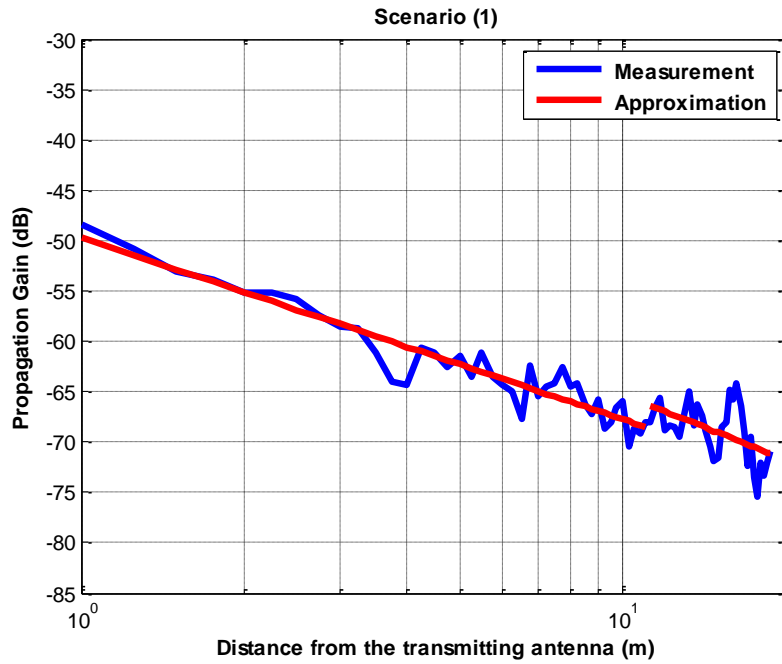


Figura 5.20: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación casi idénticas), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.807$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.1546$, es superior al exponente de propagación del caso de las pérdidas por el espacio libre.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.6: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-49.68	1.807	11.25
-66.38	2.1546	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 49.68 + 18.1 * \log_{10} d & d \leq 11.25 \text{ m} \\ 66.38 + 21.55 * \log_{10} (d/11.25) & d > 11.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.21 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

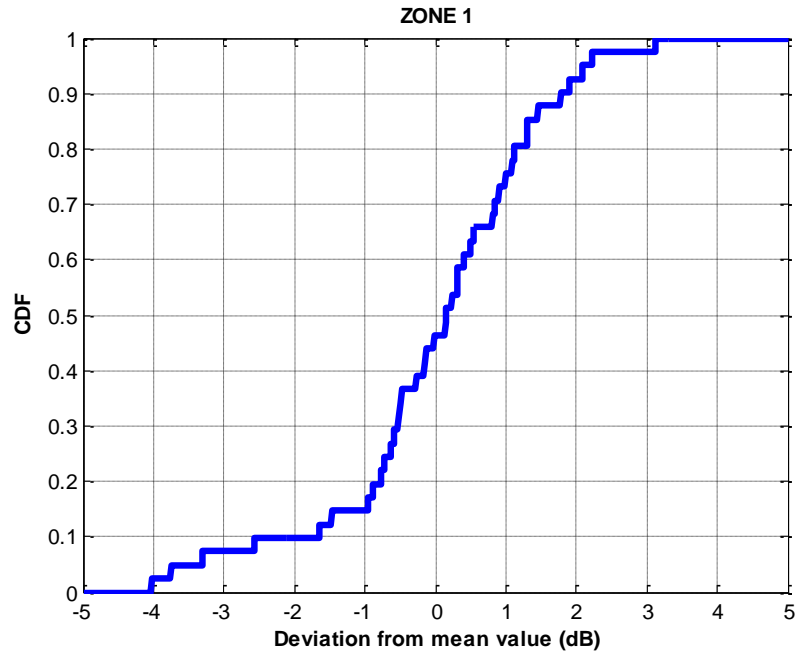


Figura 5.21: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -4 a 3.2 dB en la zona 1.

La Figura 5.22 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

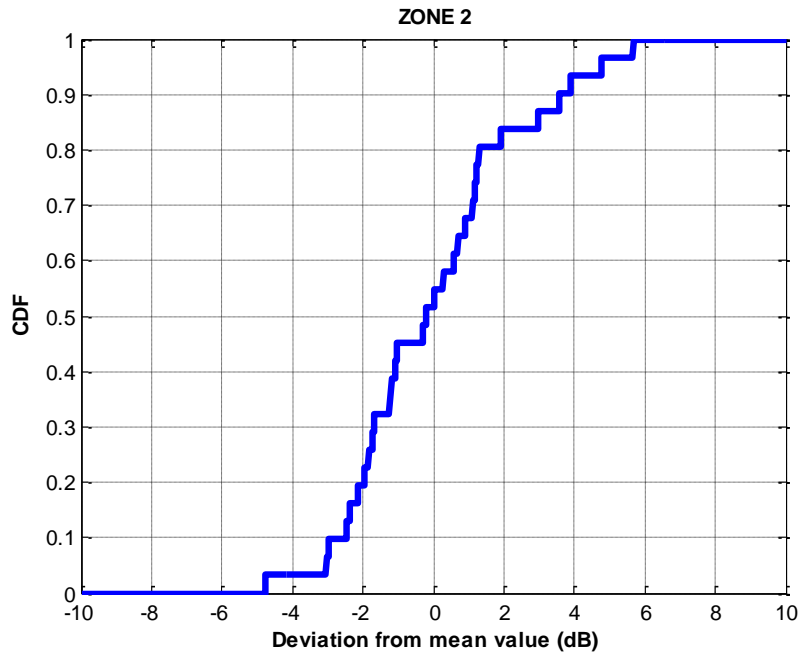


Figura 5.22: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -4.7 a 5.7 dB en la zona 2.

Las Figura 5.23 y Figura **5.24**, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias tanto en la polarización vertical como en polarización horizontal respecto a la distancia.

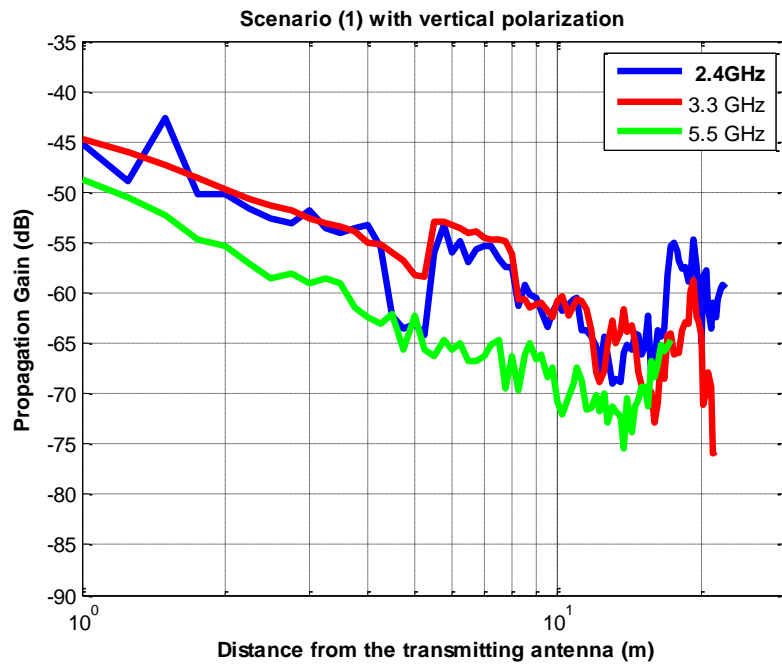


Figura 5.23: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 1)

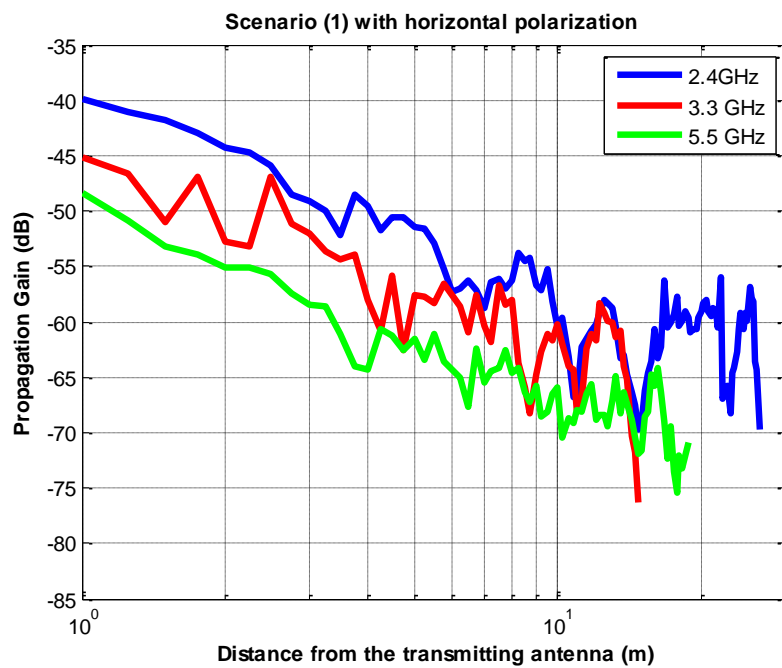


Figura 5.24: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 1)

5.1.2 Escenario 2. Pasillo de los despachos C104 – C112.

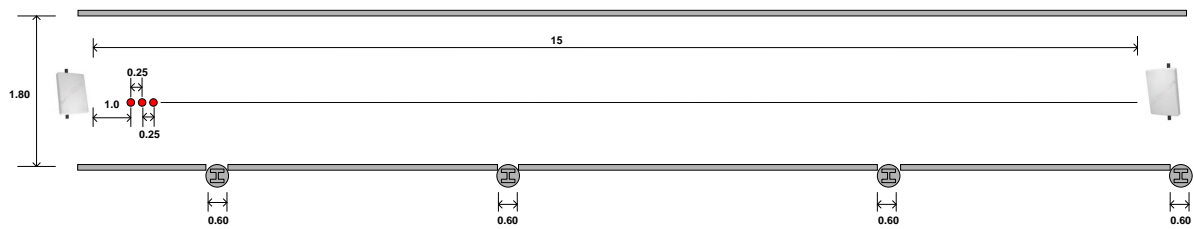


Figura 5.25: Plano del pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C

5.1.2.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo a distancias desde 1 metro hasta 13.25 metros que se presentan en las Figuras 5.25 y 5.26.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 13.25 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.26: Foto pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.27, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

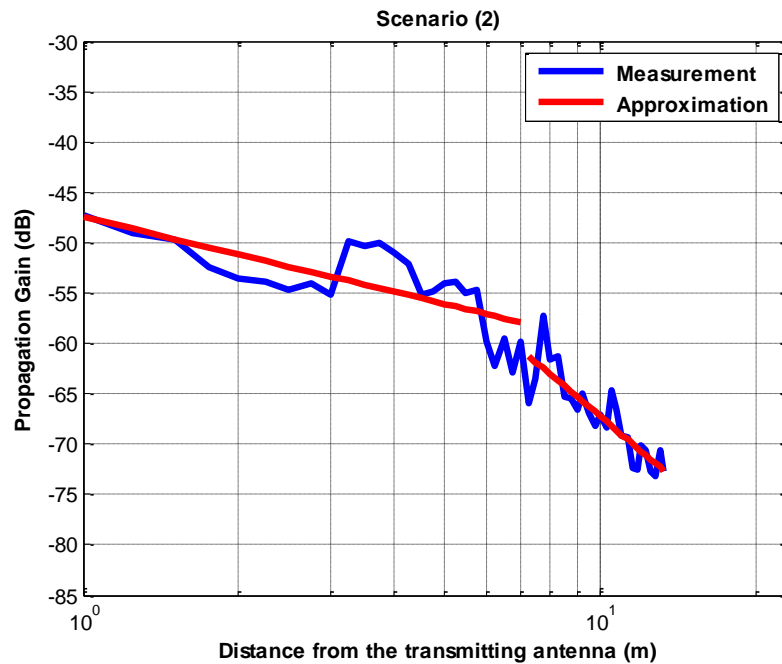


Figura 5.27: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.2396$ es menor al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=4.3723$.

Tabla 5.7: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-47.439	1.2396	7.25
-61.2	4.3723	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 47.44 + 12.4 * \log_{10} d & d \leq 7.25 \text{ m} \\ 61.20 + 43.72 * \log_{10} (d/7.25) & d > 7.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.28 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

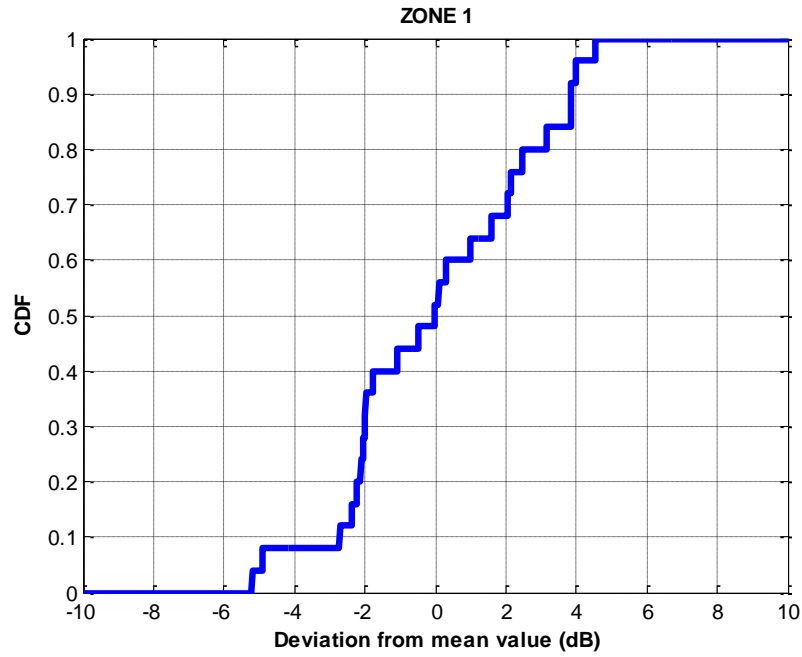


Figura 5.28: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -5 a 4.2 dB en la zona 1.

La Figura 5.29 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

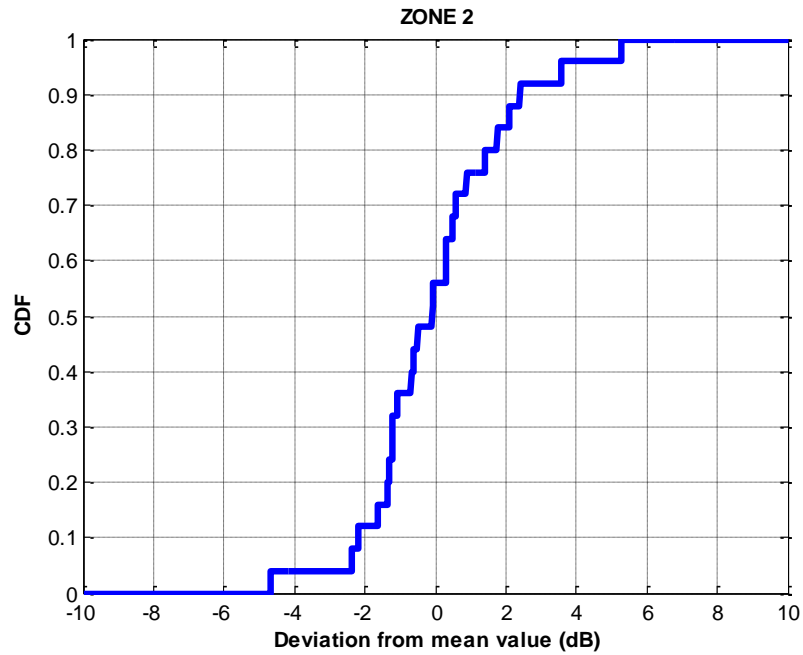


Figura 5.29: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -4.5 a 5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal

La Figura 5.30, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

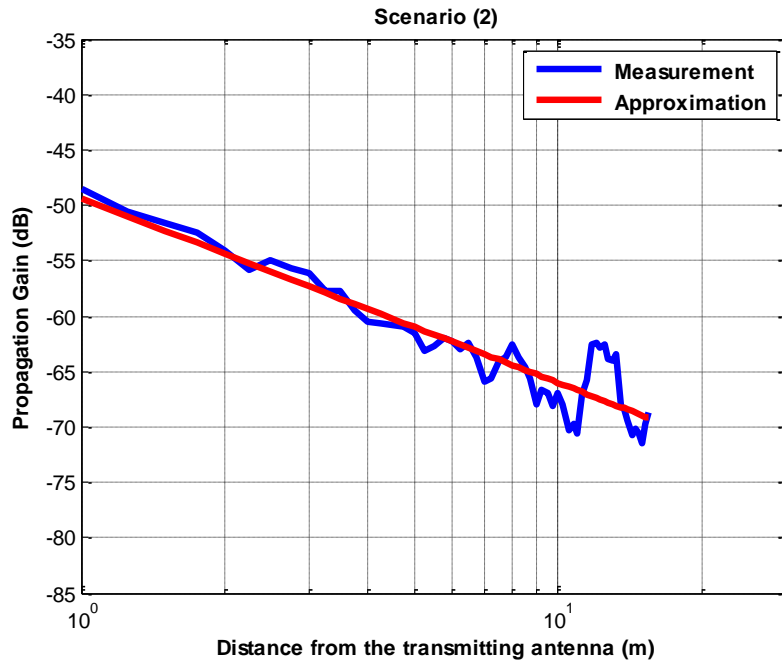


Figura 5.30: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario puede observarse un único exponente de propagación, por lo que se emplea el modelo de pendiente única para un valor de $n_1=1.6676$.

Tabla 5.8: Exponente de propagación para la zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN
-49.34	1.6676

La aproximación se ha realizado con un modelo de pendiente única, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = 49.34 + 16.68 * \log_{10} d \quad d = 15.5 m$$

La Figura 5.31 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

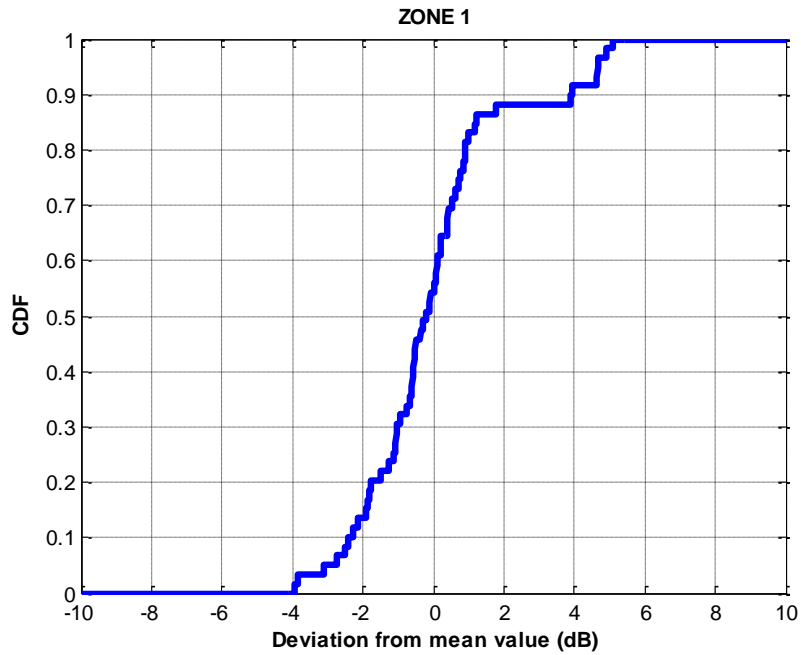


Figura 5.31: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3.8 a 5 dB en la zona 1.

5.1.2.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 14 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 14 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.32: Foto pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.33, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

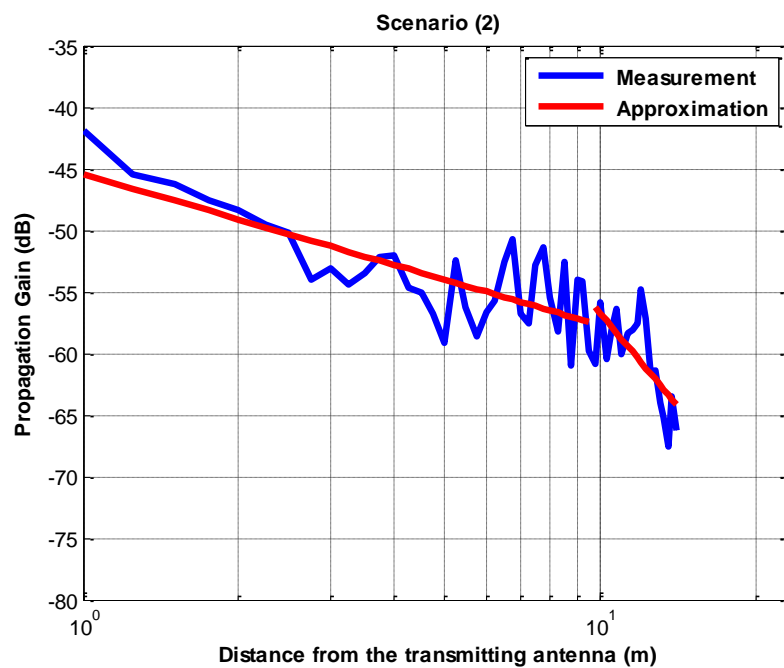


Figura 5.33: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.2277$ es menor al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=5.002$.

Tabla 5.9: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-45.43	1.227	9.75
-56.26	5.002	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 45.43 + 12.27 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 56.26 + 50.02 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.34 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

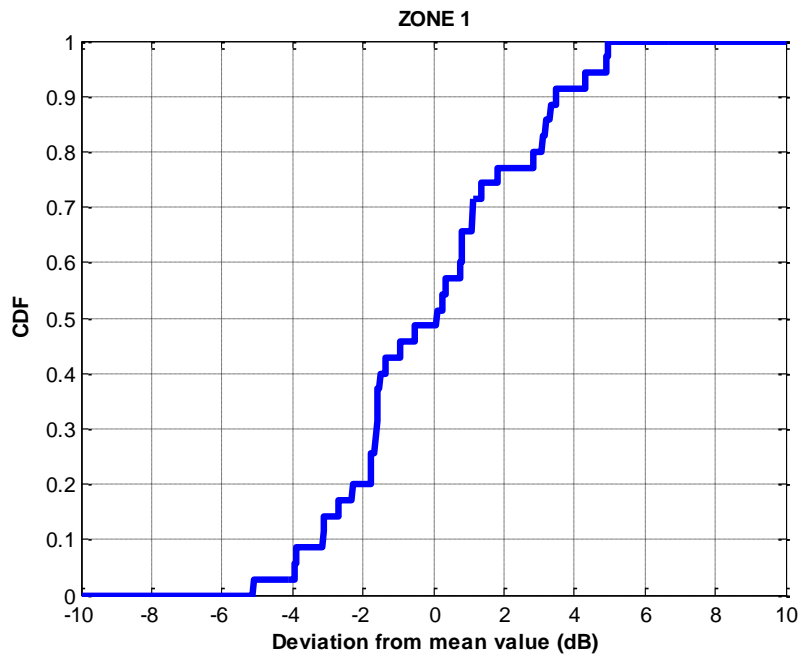


Figura 5.34: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -5 a 5.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.35 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

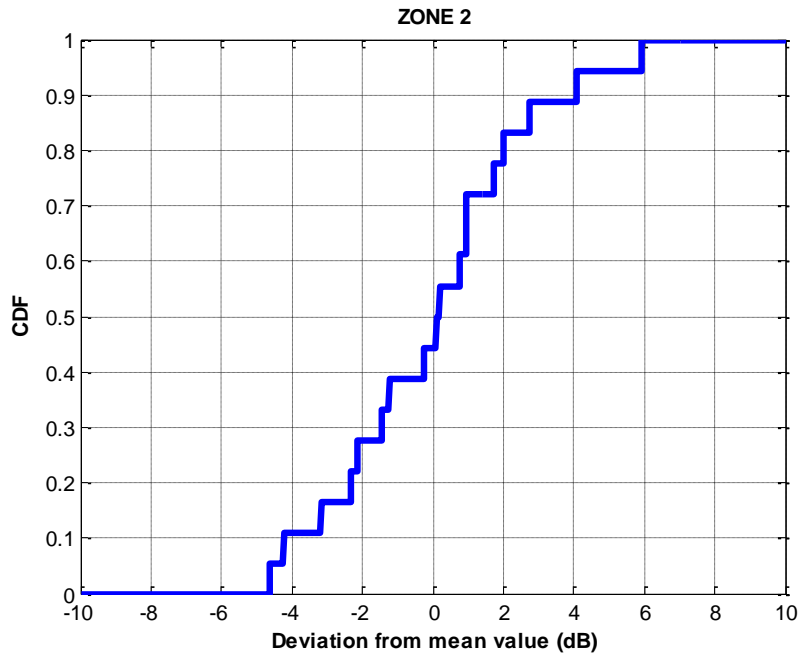


Figura 5.35: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -4.3 a 5.8 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.36, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

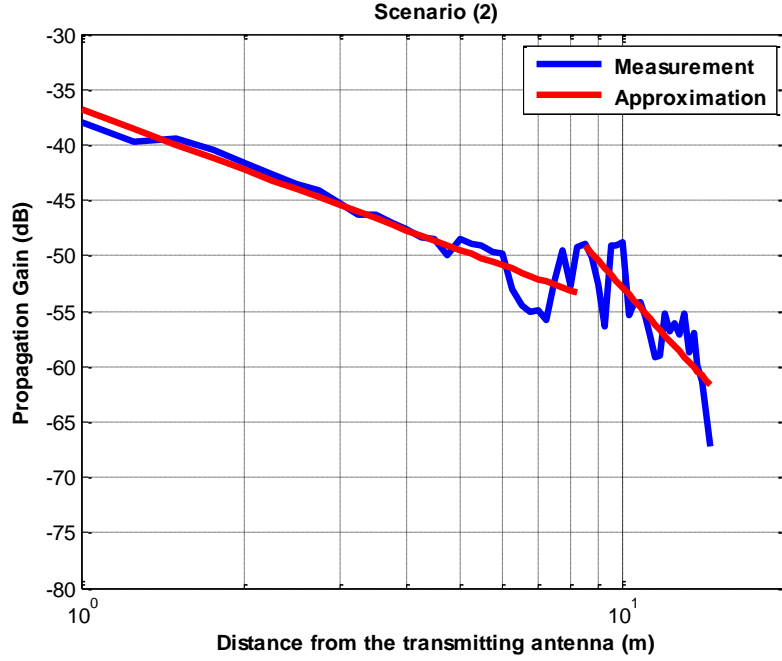


Figura 5.36: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.8043$ es menor al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=5.4107$.

Tabla 5.10: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-36.837	1.8043	8.5
-49.12	5.4107	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 36.84 + 18.04 * \log_{10} d & d \leq 8.5 \text{ m} \\ 49.12 + 54.11 * \log_{10} (d/8.5) & d > 8.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.37 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

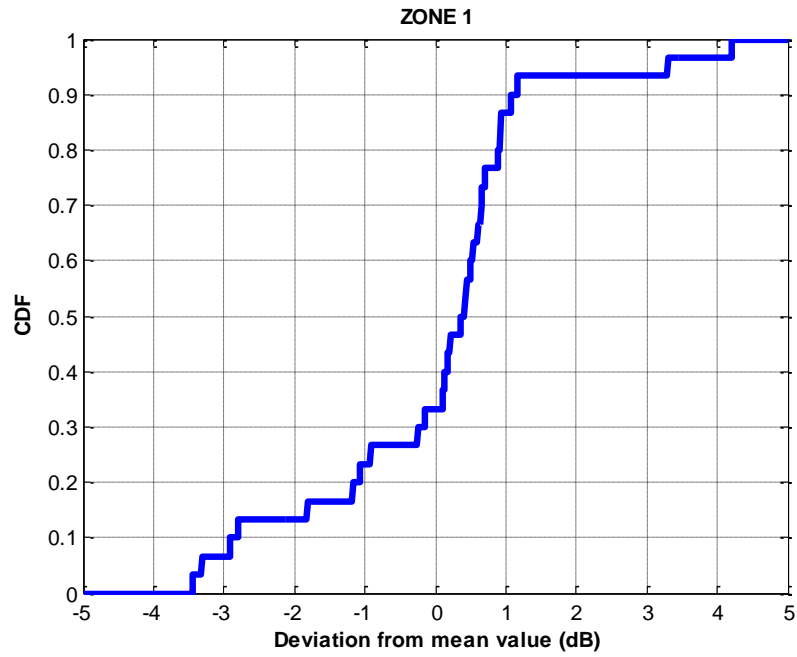


Figura 5.37: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3.3 a 4.1 dB en la zona 1.

La Figura 5.38 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

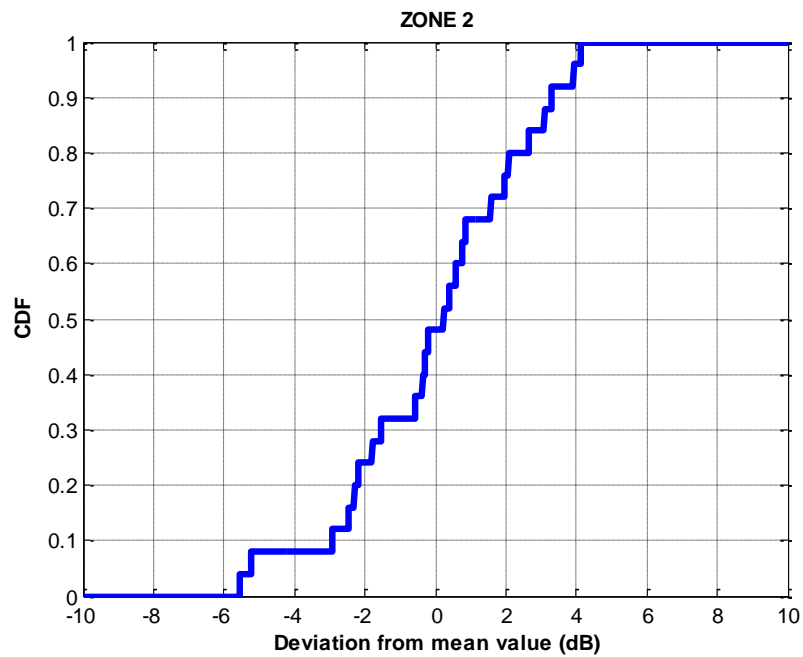


Figura 5.38: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -5.5 a 4 dB en la zona 2.

5.1.2.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 15.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 15.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.39: Foto pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.40, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

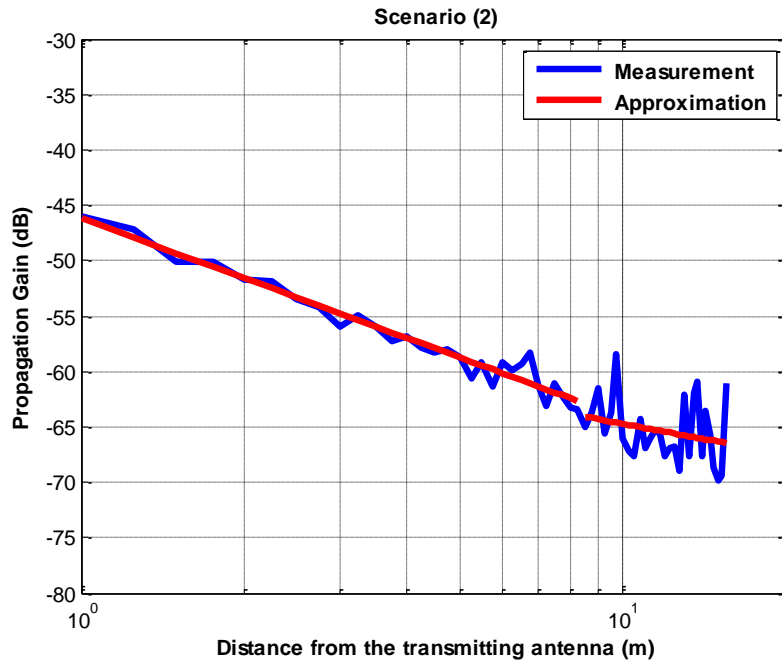


Figura 5.40: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.7993$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$) En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.9122$ siendo este inferior al exponente de propagación del caso de las pérdidas por el espacio libre.

Como se puede ver, hasta 8.5 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 8.5 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.11: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-46.153	1.7993	8.5
-64.07	0.9122	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 46.15 + 17.99 * \log_{10} d & d \leq 8.5 \text{ m} \\ 64.07 + 9.12 * \log_{10} (d/8.5) & d > 8.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.41 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

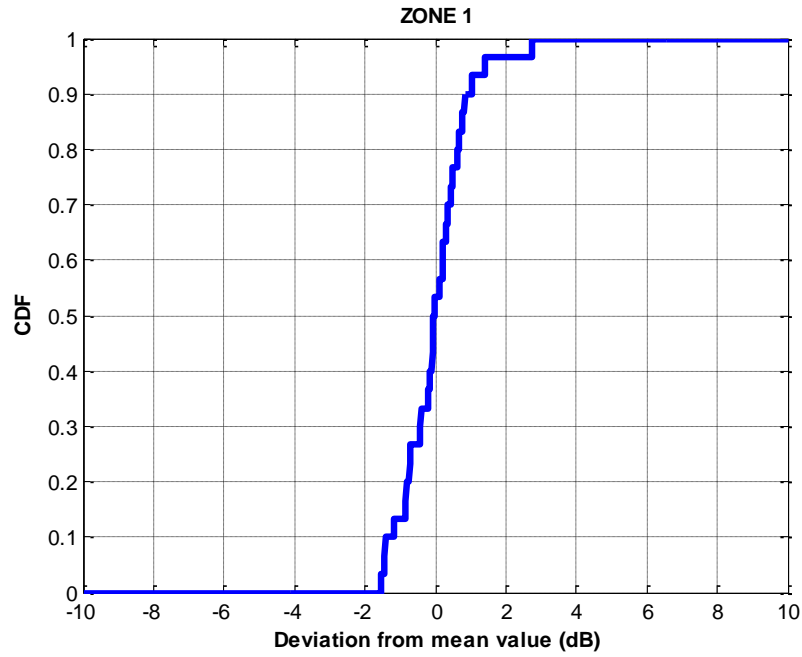


Figura 5.41: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.5 a 2.7 dB en la zona 1, además se puede observar que existe un 97% de valores menores de 2.7 dB.

La Figura 5.42 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

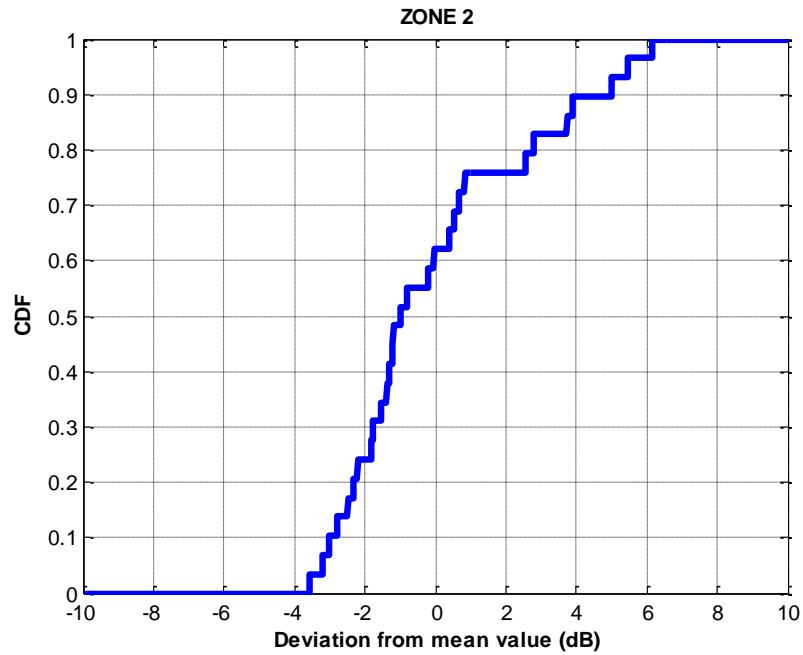


Figura 5.42: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -3.7 a 6. dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.43, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

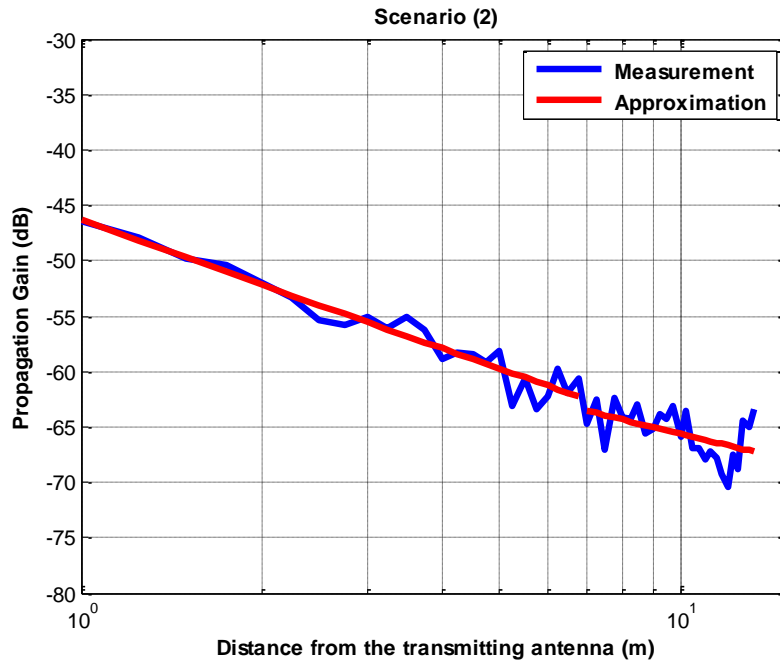


Figura 5.43: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9172$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.3243$ siendo este inferior al exponente de propagación del caso de las pérdidas por el espacio libre.

Como se puede ver, hasta 7 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 7 m. se puede modelar como una combinación de espacio libre y guía de onda.

Tabla 5.12 : Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-46.36	1.92	7
-63.57	1.32	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 46.36 + 19.2 * \log_{10} d & d \leq 7 \text{ m} \\ 63.57 + 13.2 * \log_{10} (d/7) & d > 7 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.44 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

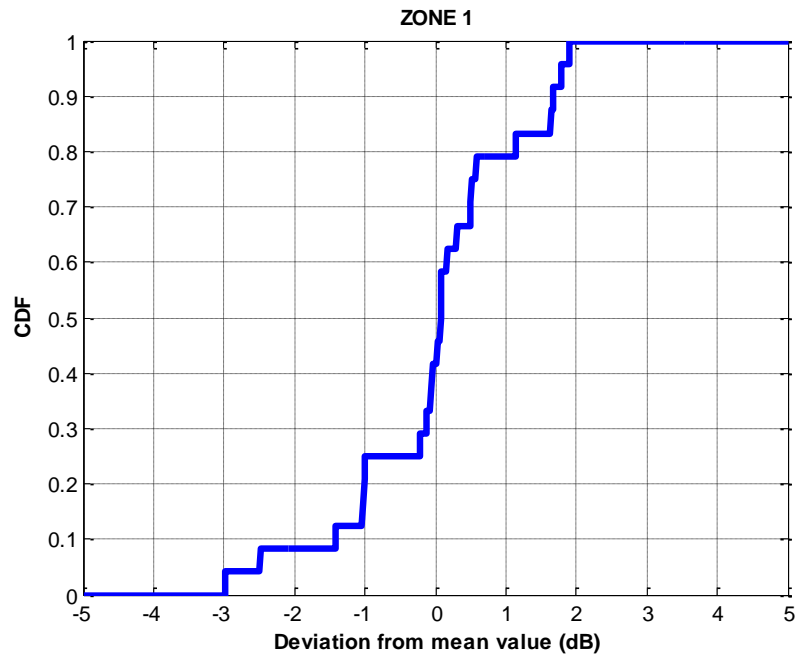


Figura 5.44: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3 a 1.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.45 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

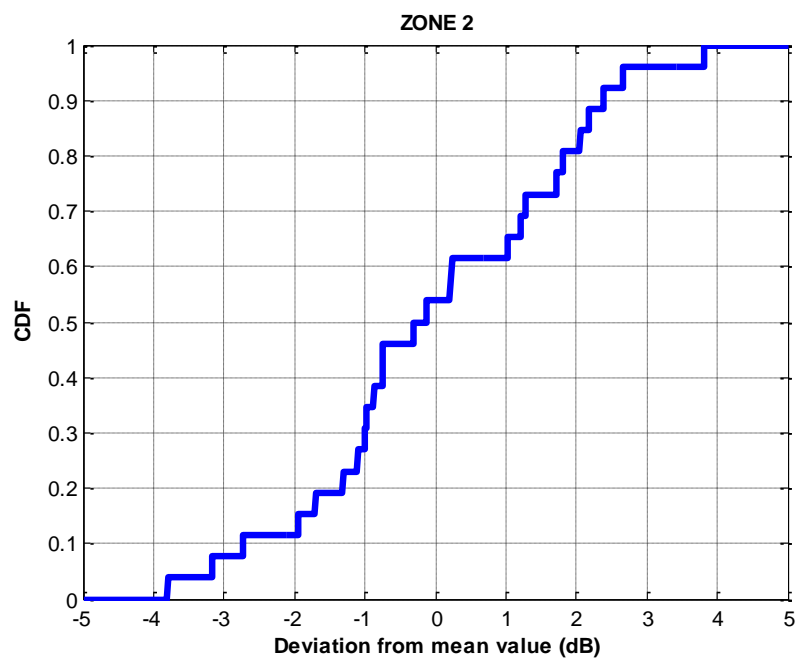


Figura 5.45: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -3.75 a 3.5 dB en la zona 2.

Las Figura 5.46 y Figura 5.47, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencias utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 2.4 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias hasta una determinada distancia en la polarización vertical. En tanto que en polarización horizontal la frecuencia de 2.4 GHz. presenta la mayor atenuación de la señal respecto a la distancia.

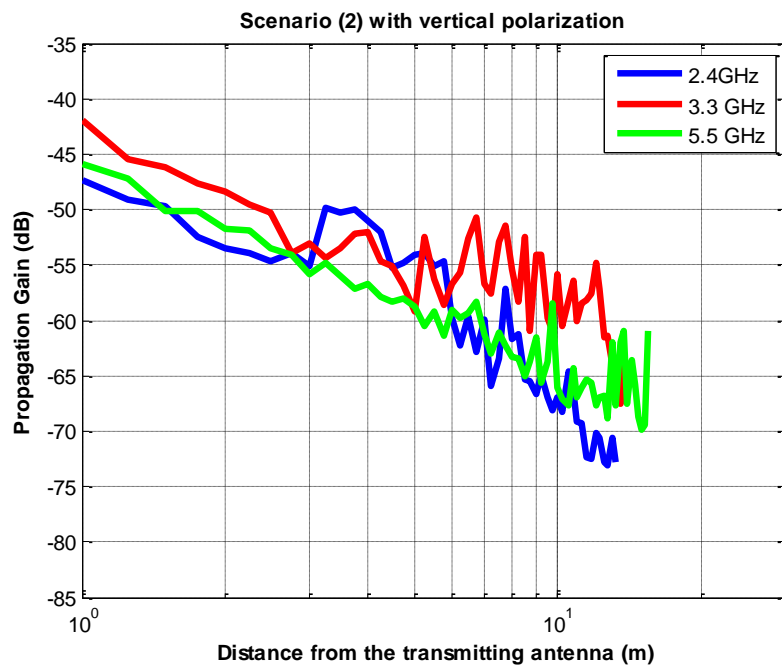


Figura 5.46: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 2)

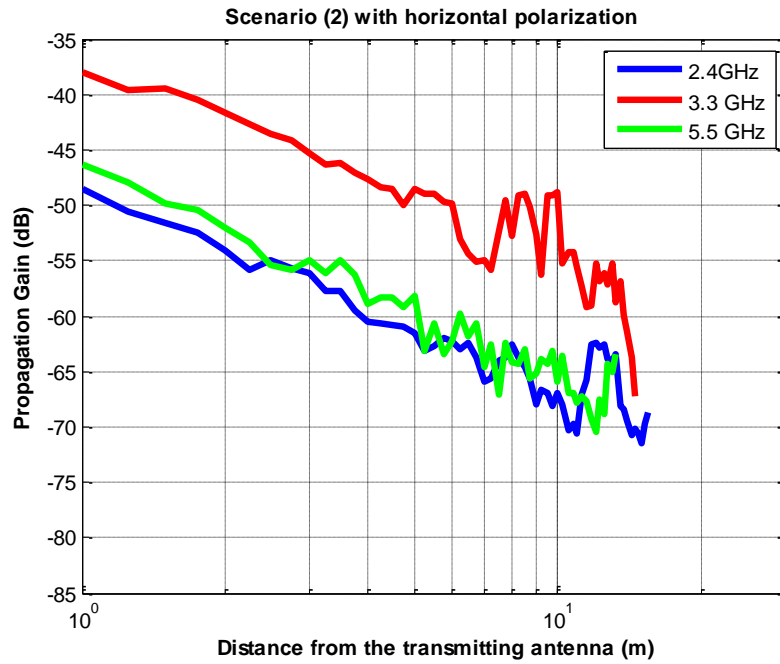


Figura 5.47: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 2)

5.1.3 Escenario 3. Pasillo de la planta baja junto a los laboratorios C005 – C007.

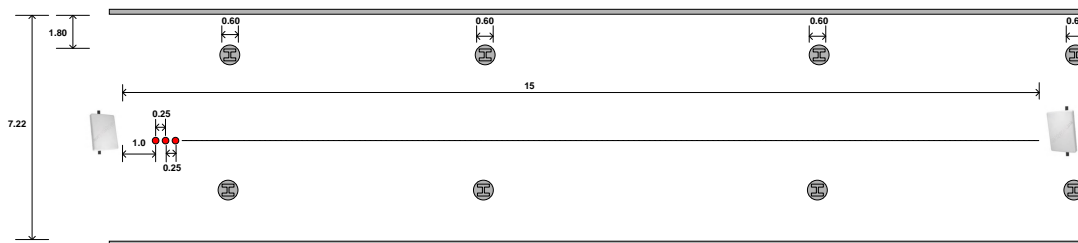


Figura 5.48: Plano del pasillo junto a los laboratorios C005 –C007, Planta baja, Edificio C

5.1.3.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 17 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 17 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.49: Foto pasillo junto a los laboratorios C005 –C007, Planta baja, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.50, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

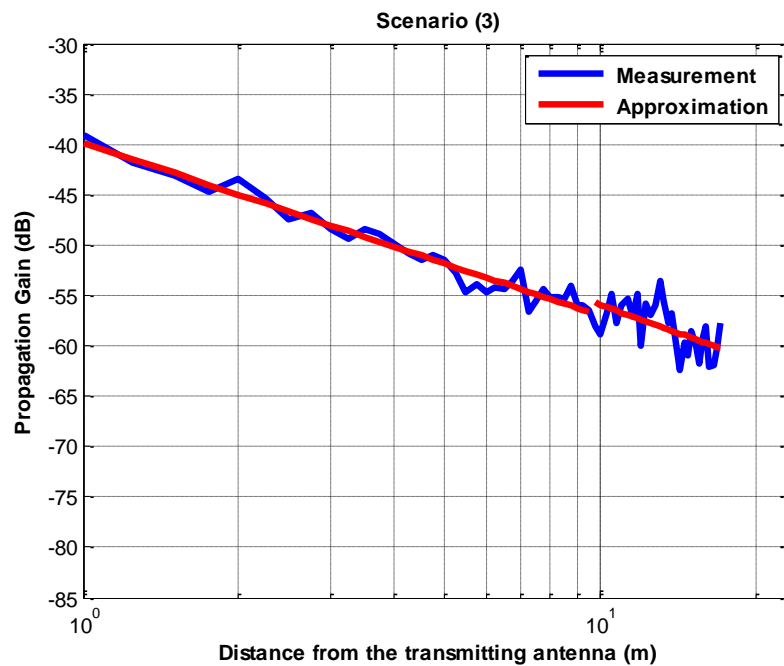


Figura 5.50: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.7191$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.6838$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.13: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-39.82	1.7191	9.75
-53.73	2.6838	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 39.82 + 17.92 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 53.73 + 26.84 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.51 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

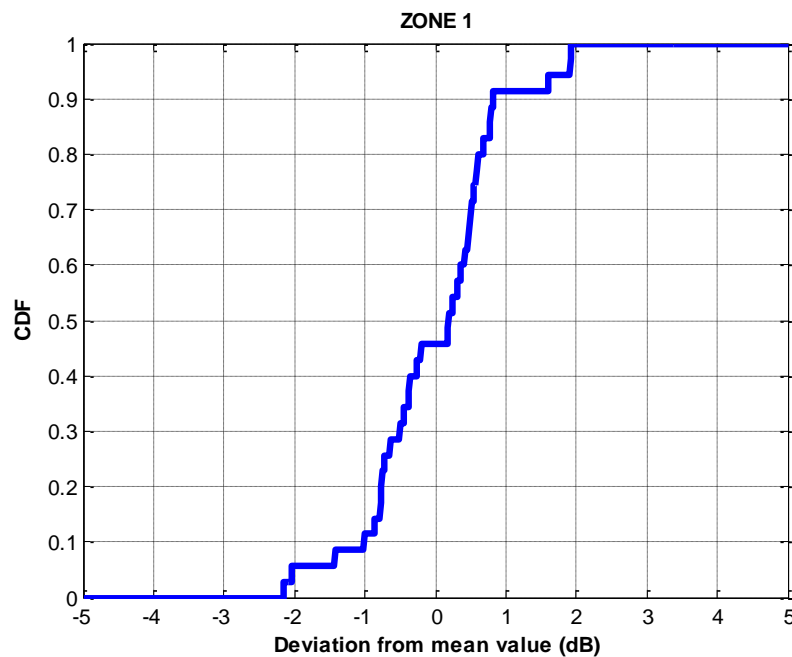


Figura 5.51: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.15 a 1.75 dB en la zona 1.

La Figura 5.52 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

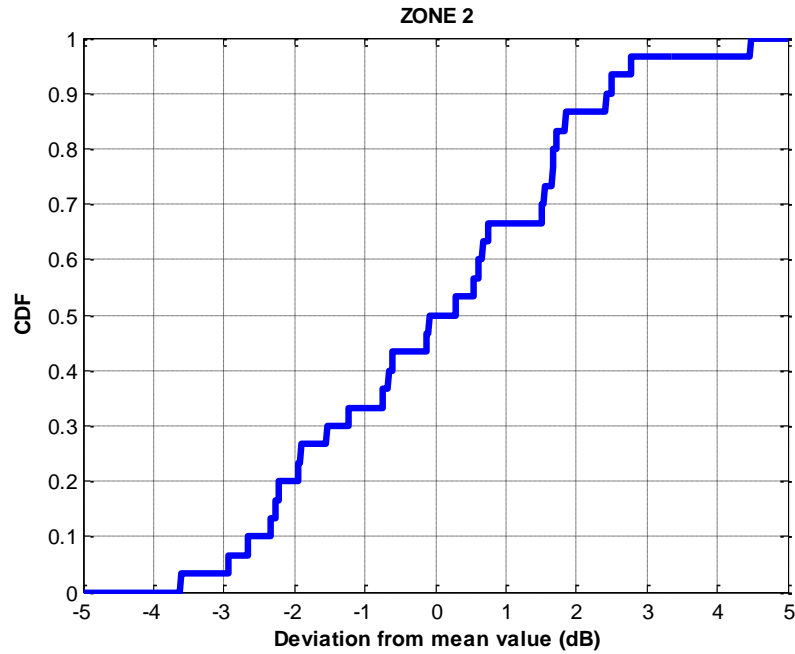


Figura 5.52: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -3.75 a 4.15 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.53, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

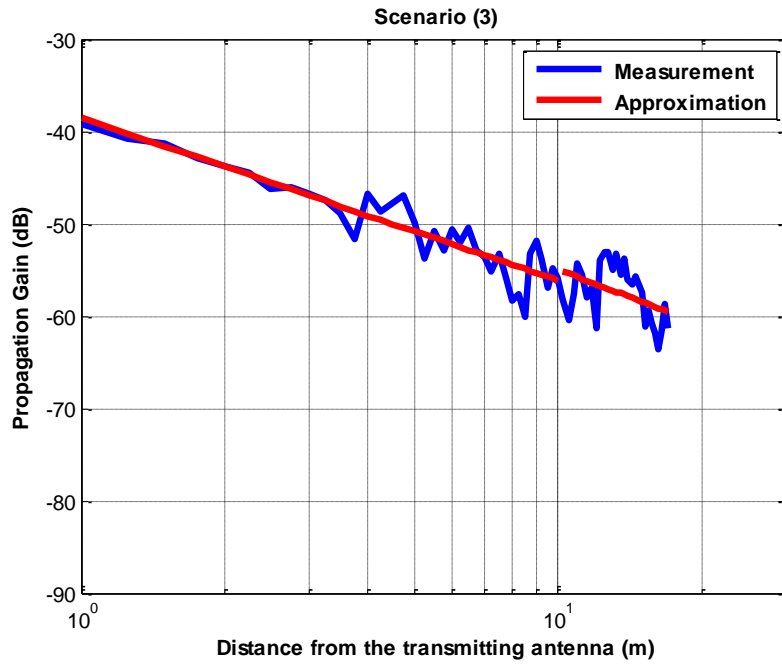


Figura 5.53: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.7650$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.9752$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.14: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-38.49	1.765	10.25
-55.18	1.975	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 38.49 + 17.65 * \log_{10} d & d \leq 10.25 \text{ m} \\ 55.18 + 19.75 * \log_{10} (d/10.25) & d > 10.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.54 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

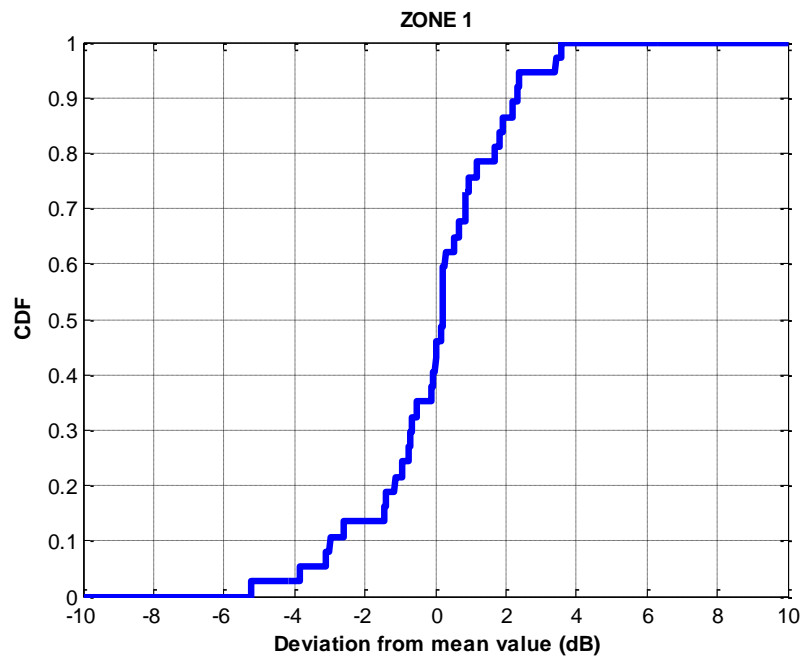


Figura 5.54: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -5.2 a 3.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.55 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

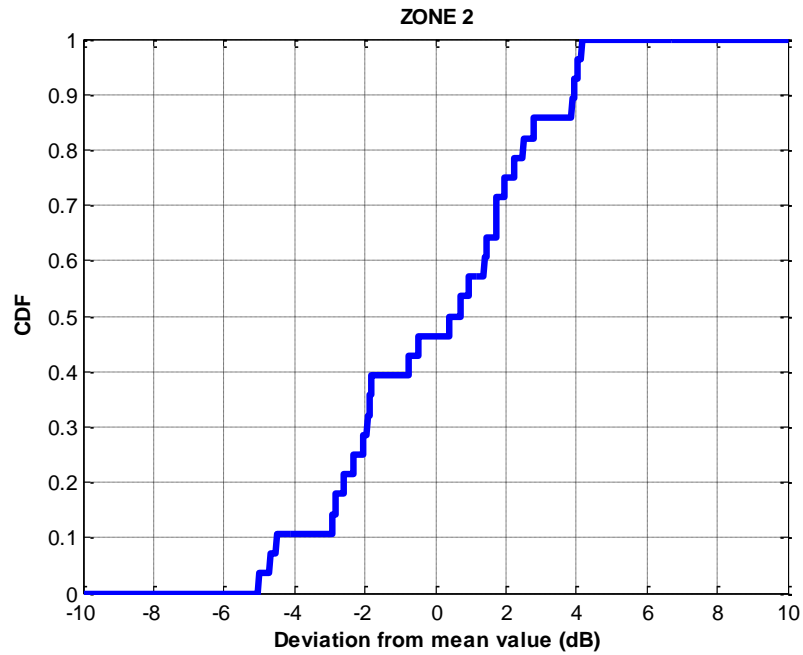


Figura 5.55: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -4.8 a 4 dB en la zona 2.

5.1.3.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 17 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 17 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.56: Foto pasillo junto a los laboratorios C005 – C007, Planta baja, Edificio C

Polarización Vertical

La Figura 5.57, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

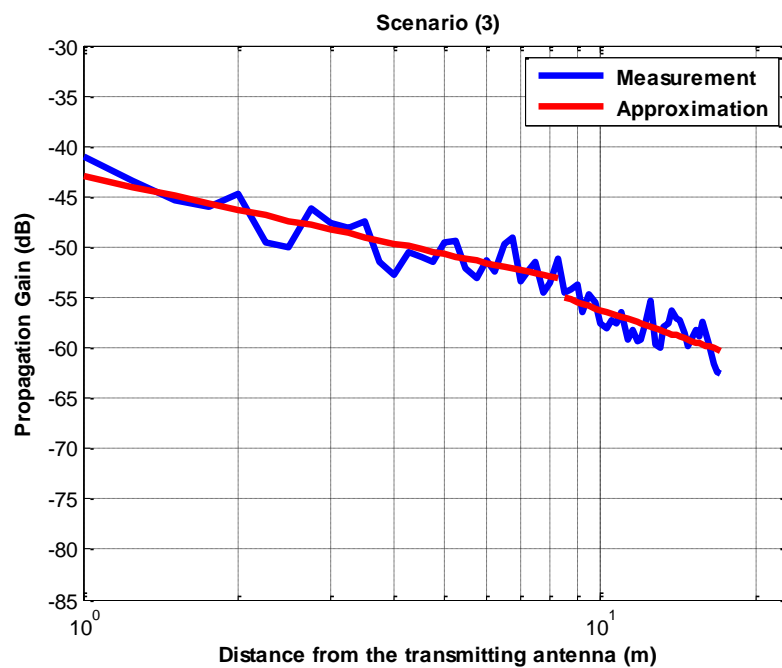


Figura 5.57: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.1028$ es menor al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.7374$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.15: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-42.988	1.103	8.5
-55.02	1.74	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 42.99 + 11.03 * \log_{10} d & d \leq 8.5 \text{ m} \\ 55.02 + 17.4 * \log_{10} (d/8.5) & d > 8.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.58 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

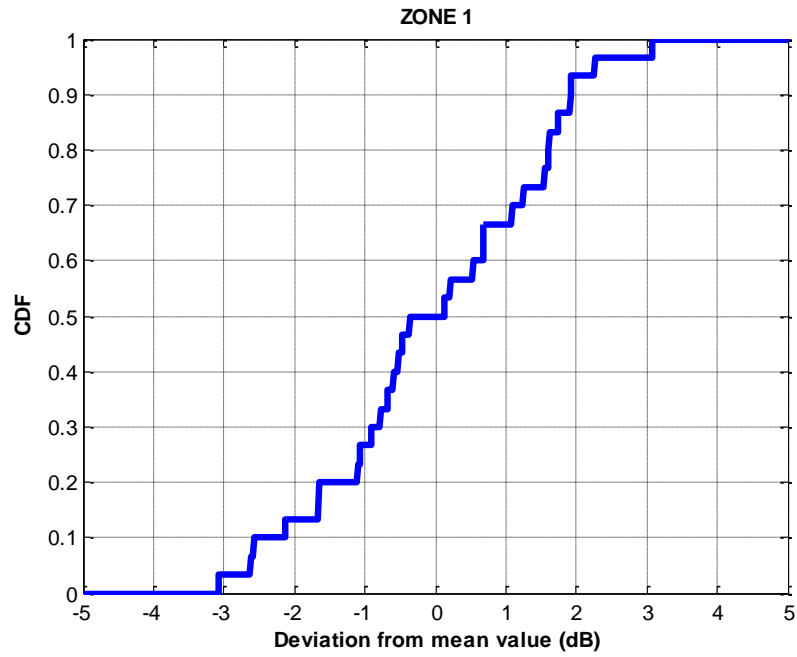


Figura 5.58: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3 a 3 dB en la zona 1.

La Figura 5.59 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

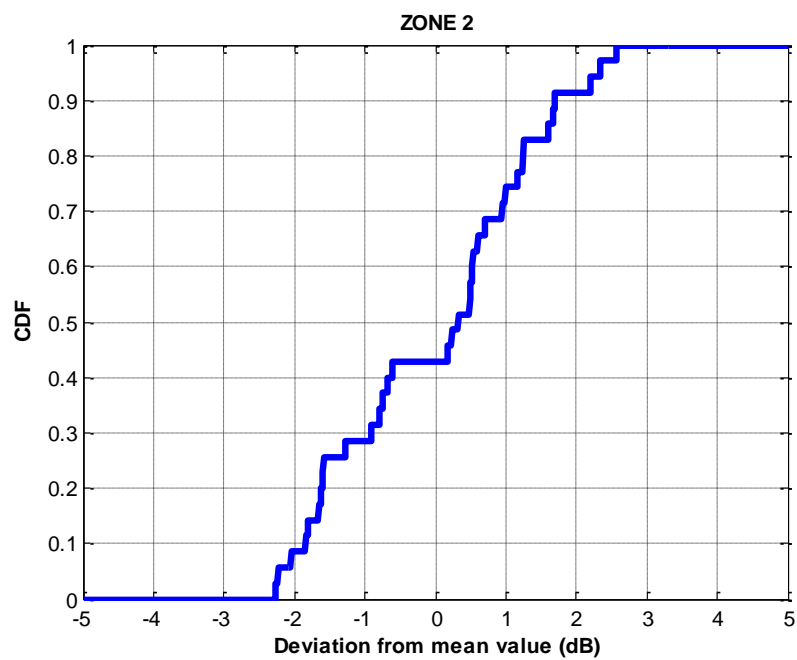


Figura 5.59: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -2.25 a 2.5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.60, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

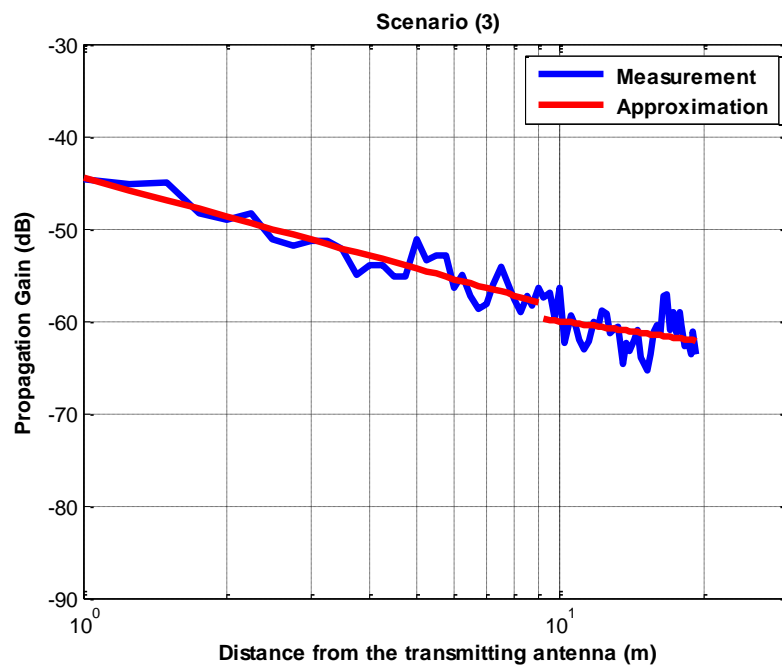


Figura 5.60: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.4105$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.7415$ siendo este inferior al exponente de propagación del caso de las pérdidas por el espacio libre.

Como se puede ver, hasta 9.25 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 9.25 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.16: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-44.46	1.4105	9.25
-59.75	0.7415	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 44.46 + 14.10 * \log_{10} d & d \leq 9.25 \text{ m} \\ 59.75 + 7.41 * \log_{10} (d/9.25) & d > 9.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.61 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

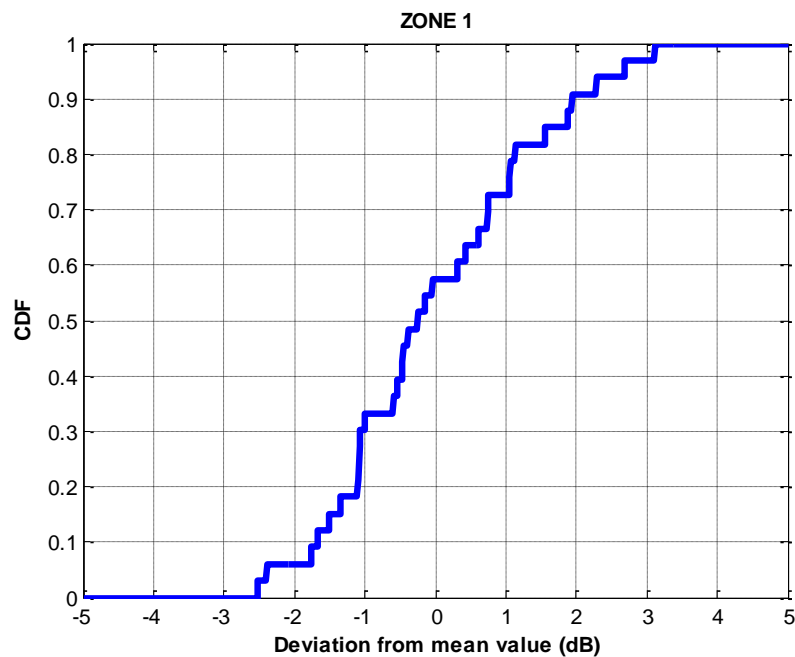


Figura 5.61: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.5 a 3 dB en la zona 1.

La Figura 5.62 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

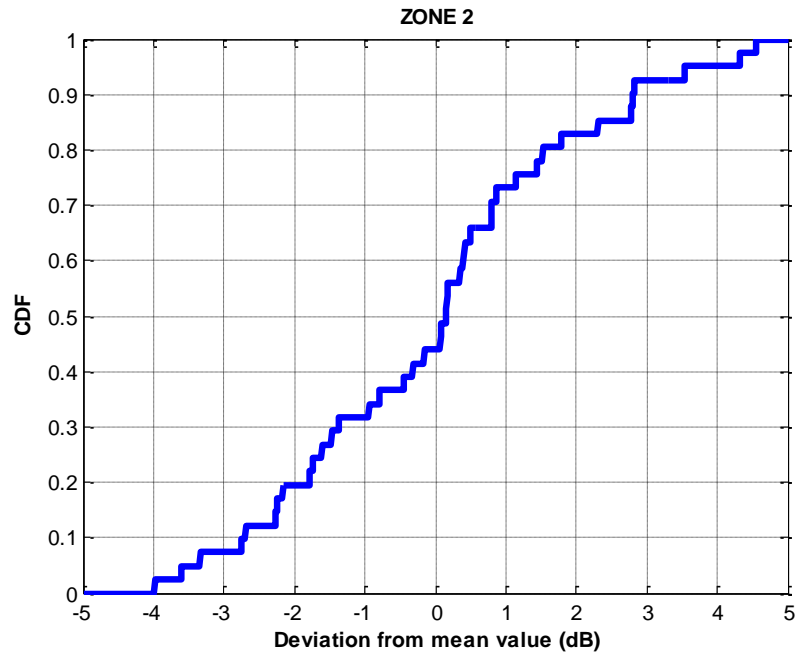


Figura 5.62: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -4 a 4.2 dB en la zona 2.

5.1.3.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 15.75 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 15.75 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.63: Foto pasillo junto a los laboratorios C005 – C007, Planta baja, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.64, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

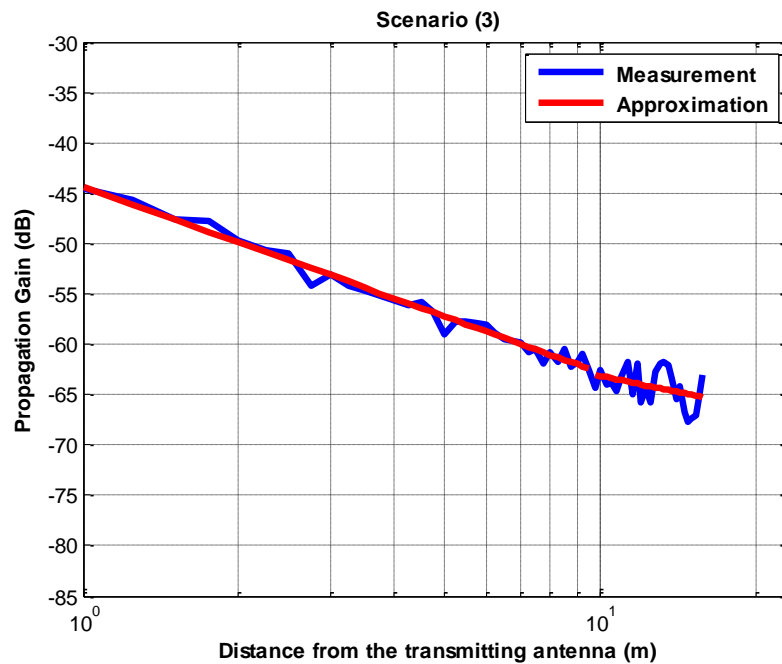


Figura 5.64: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.8525$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.0707$ siendo este inferior al exponente de propagación del caso de las pérdidas por el espacio libre.

Como se puede ver, hasta 9.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 9.75 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.17: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-44.31	1.8525	9.75
-63.05	1.0707	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 44.31 + 18.52 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 63.05 + 10.7 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.65 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

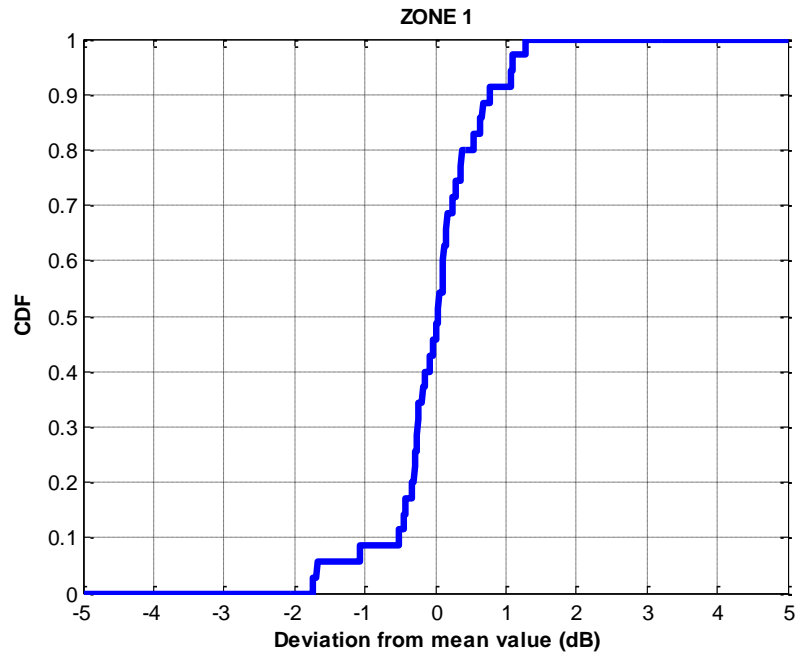


Figura 5.65: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.7 a 1.25 dB en la zona 1.

La Figura 5.66 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

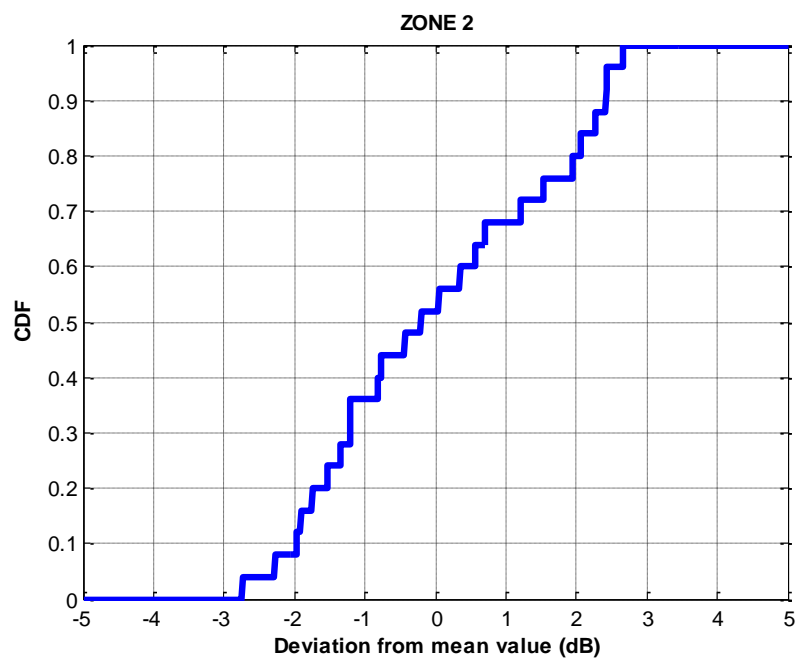


Figura 5.66: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -2.5 a 2.5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.67, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

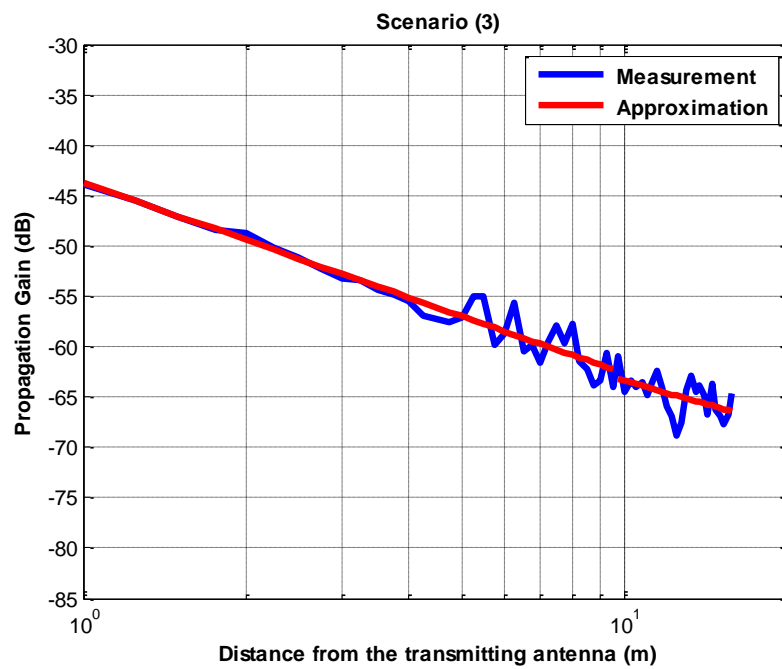


Figura 5.67: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.8958$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.5124$.

Como se puede ver, hasta 9.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 9.75 m. se puede modelar como una combinación de espacio libre y guía de onda.

Tabla 5.18: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-43.72	1.89	9.75
-63.25	1.51	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 43.72 + 18.9 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 63.25 + 15.1 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.68 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

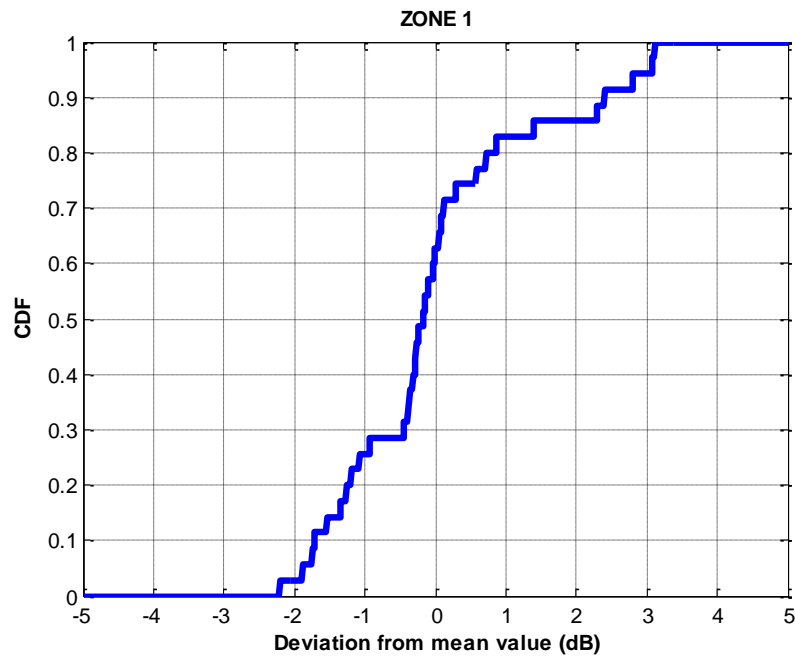


Figura 5.68: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.2 a 3 dB en la zona 1.

La Figura 5.69 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

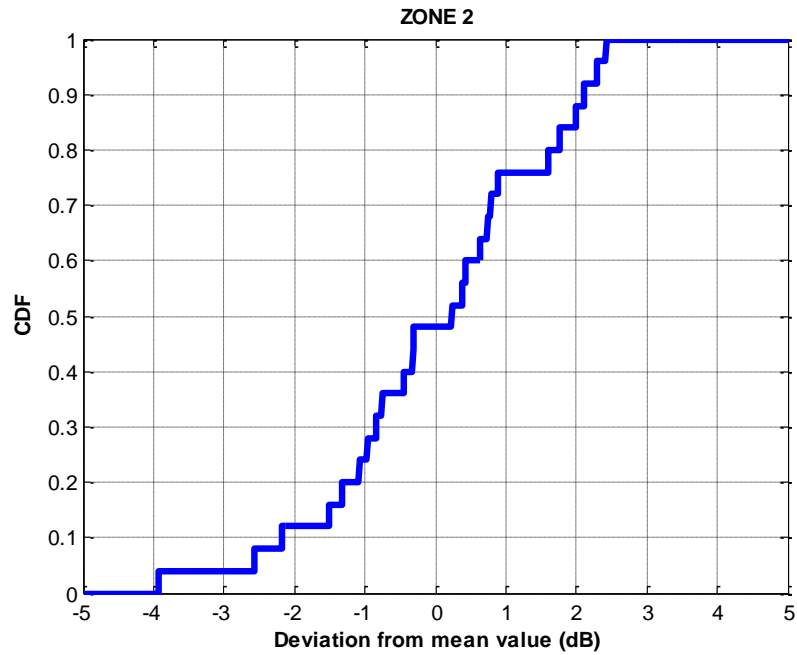


Figura 5.69: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -3.8 a 2.2 dB en la zona 2.

Las Figura 5.70 y Figura **5.71**, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias, tanto en polarización vertical como horizontal con respecto a la distancia.

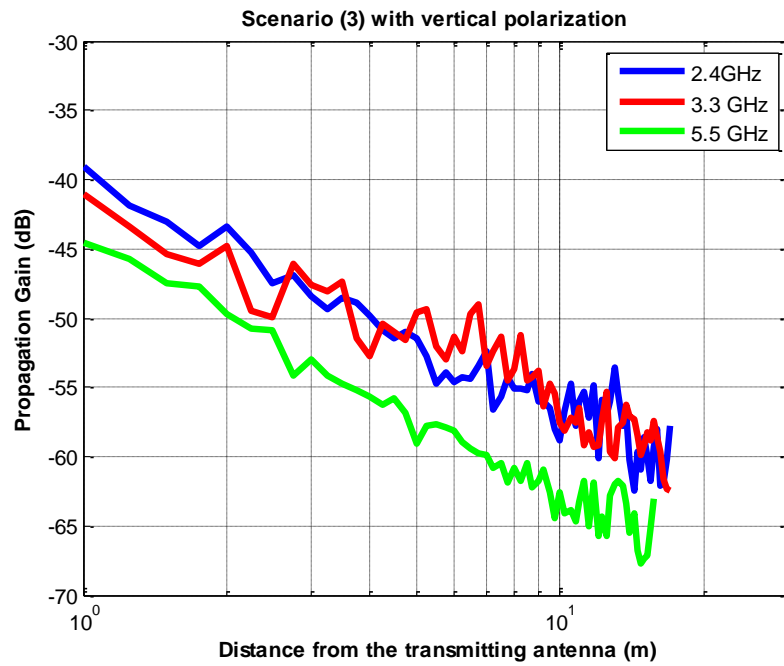


Figura 5.70: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 3)

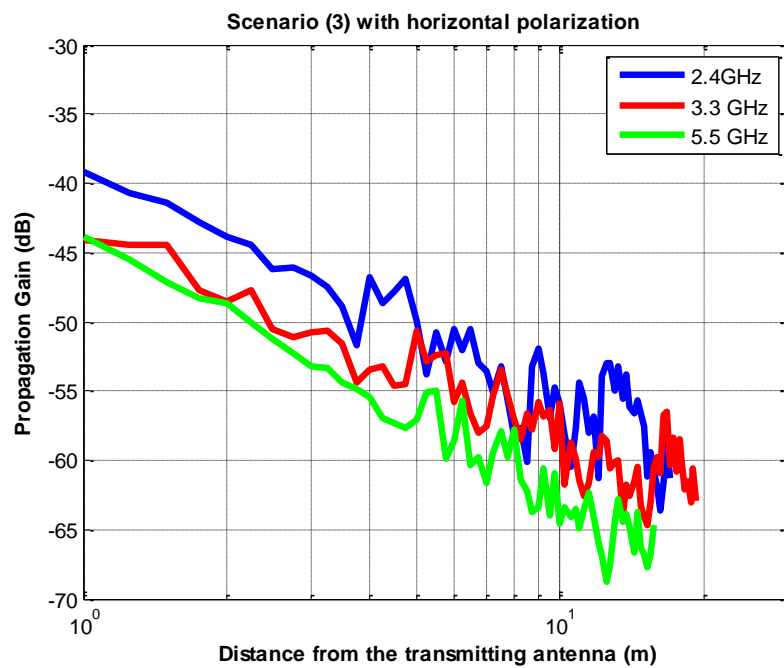


Figura 5.71: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 3)

5.1.4 Escenario 7. Pasillo del primer piso Edificio C junto al laboratorio C103 y aula C105.

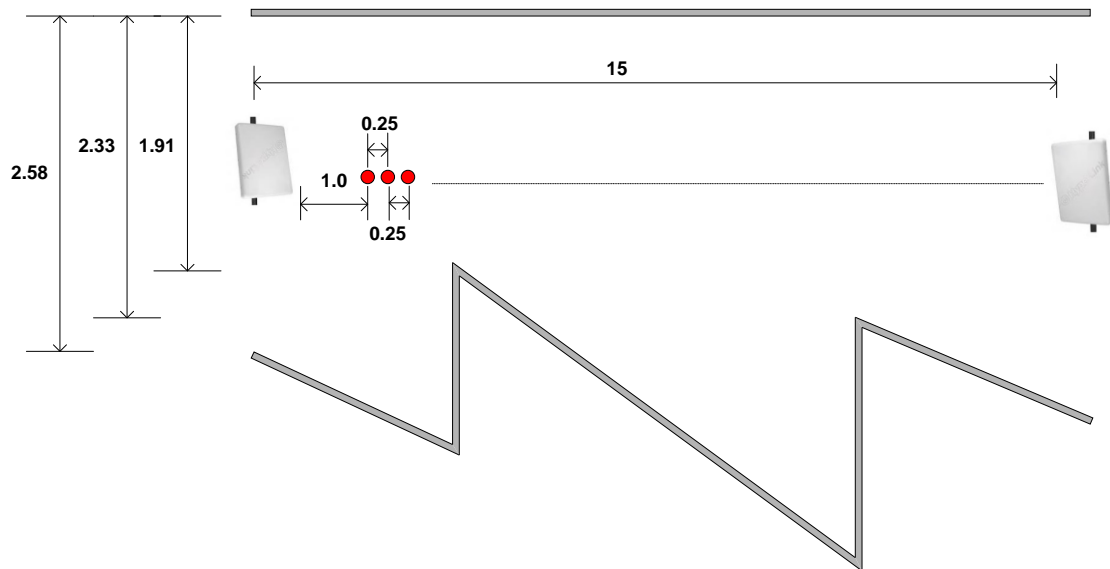


Figura 5.72: Plano del pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C

5.1.4.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 13 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 13 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.73: Foto pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.74, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

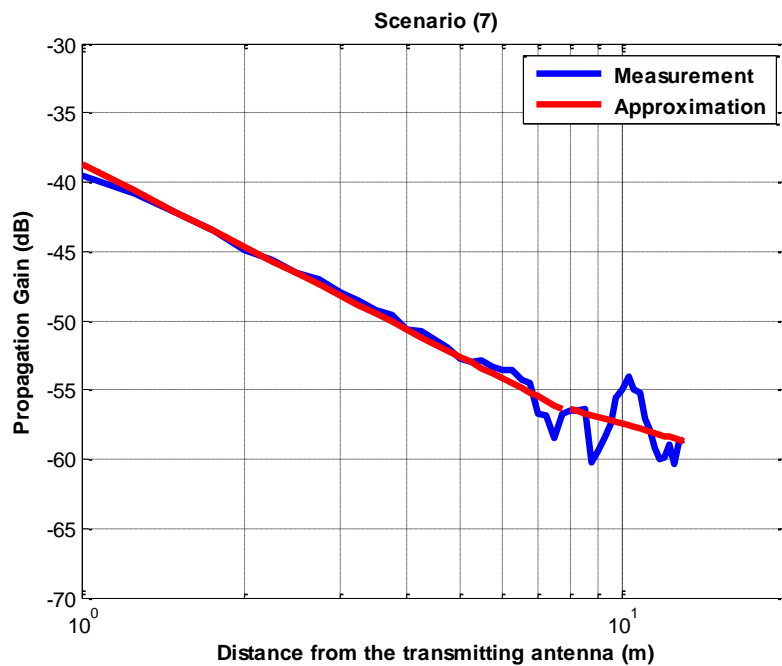


Figura 5.74: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9915$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.0908$ siendo este inferior al exponente de propagación del caso de las pérdidas por el espacio libre.

Como se puede ver, hasta 8 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 8 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.19: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-38.6629	1.9915	8
-56.39	1.0908	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 38.66 + 19.92 * \log_{10} d & d \leq 8 \text{ m} \\ 56.39 + 10.91 * \log_{10} (d/8) & d > 8 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.75, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

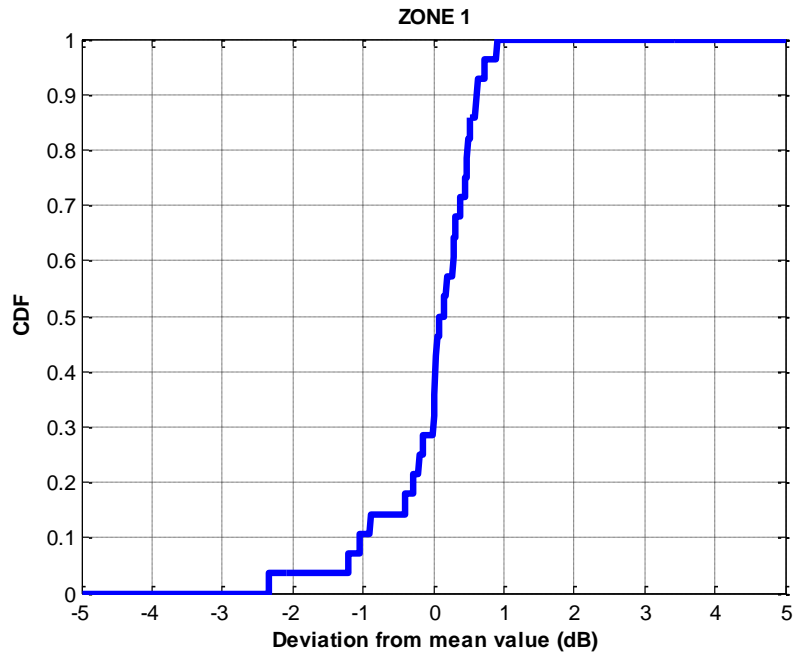


Figura 5.75: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.2 a 0.7 dB en la zona 1.

La Figura 5.76, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

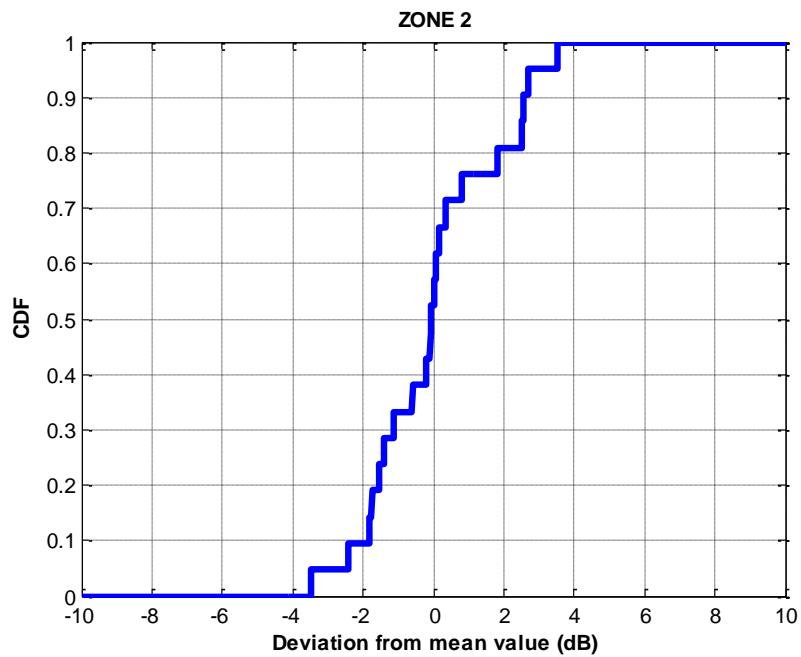


Figura 5.76: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -3.2 a 3.2 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.77, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

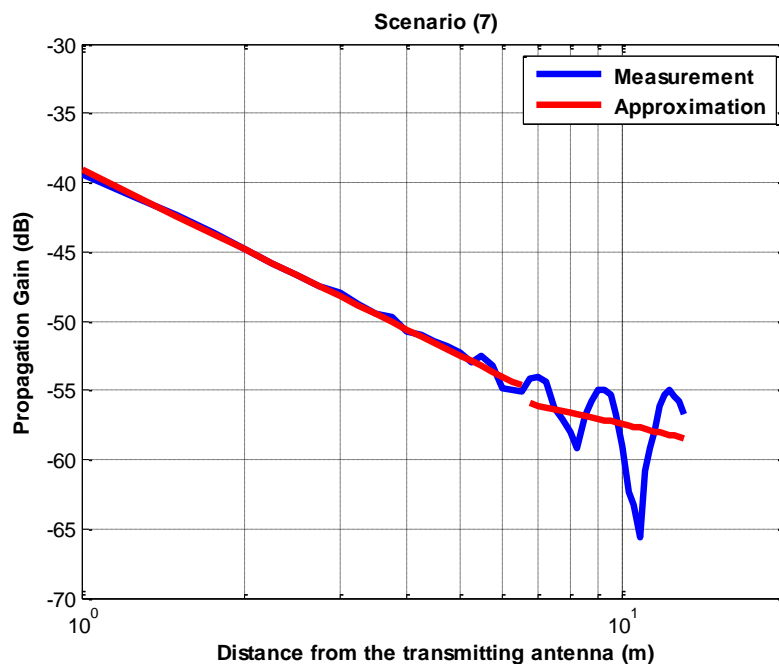


Figura 5.77: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9211$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.8678$

Como se puede ver, hasta 6.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 6.75 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.20: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-39.0504	1.9211	6.75
-55.95	0.8678	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 39.05 + 19.21 * \log_{10} d & d \leq 6.75 \text{ m} \\ 55.95 + 8.68 * \log_{10} (d/6.75) & d > 6.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.78, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

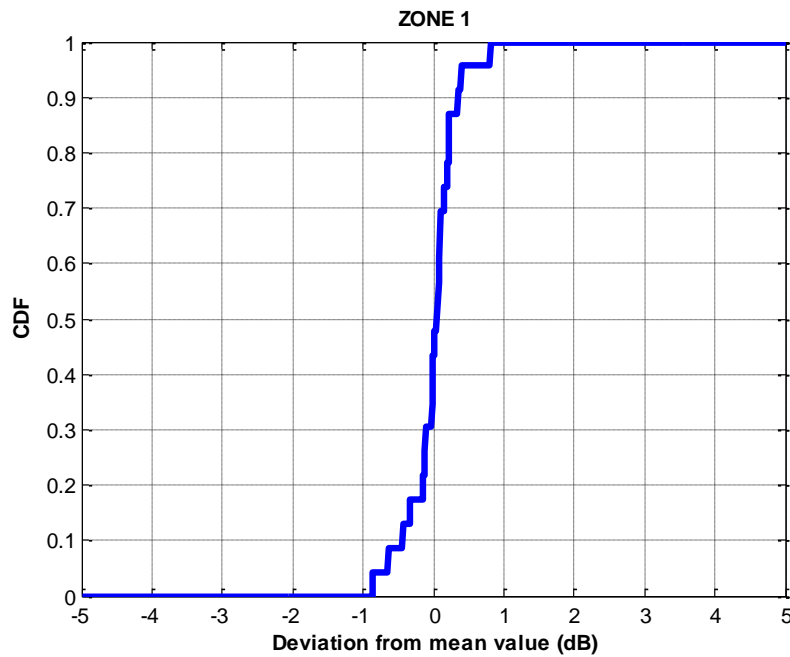


Figura 5.78: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -0.8 a 0.78 dB en la zona 1.

La Figura 5.79 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

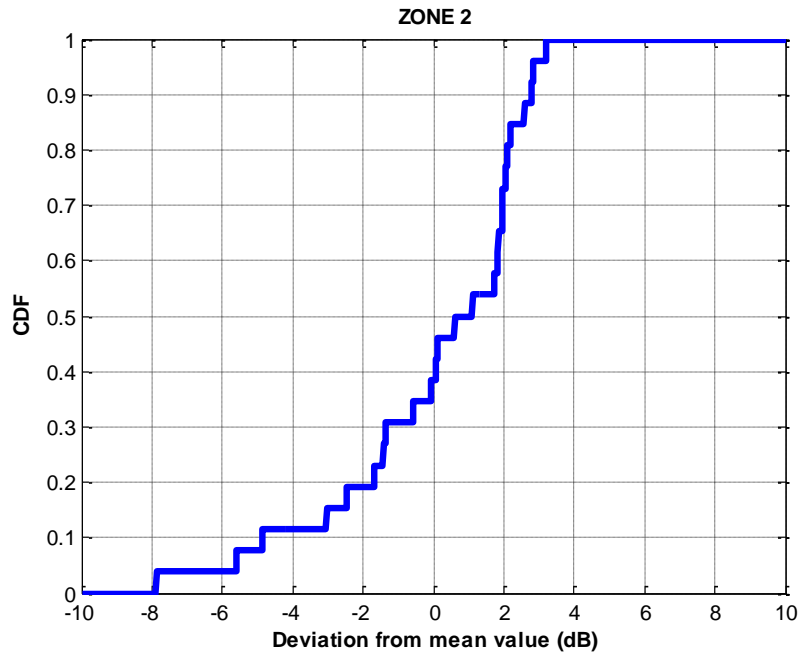


Figura 5.79: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7.8 a 3 dB en la zona 2.

5.1.4.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 20.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 20.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.80: Foto pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.81, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

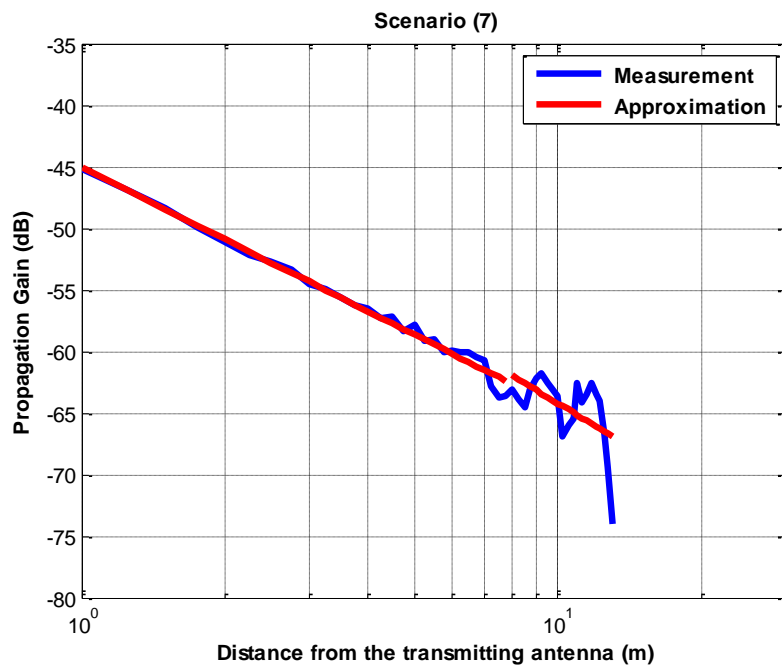


Figura 5.81: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9527$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.3429$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.21: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-45.00	1.9527	8
-61.95	2.3429	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 45.00 + 19.53 * \log_{10} d & d \leq 8 \text{ m} \\ 61.95 + 23.43 * \log_{10} (d/8) & d > 8 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.82, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

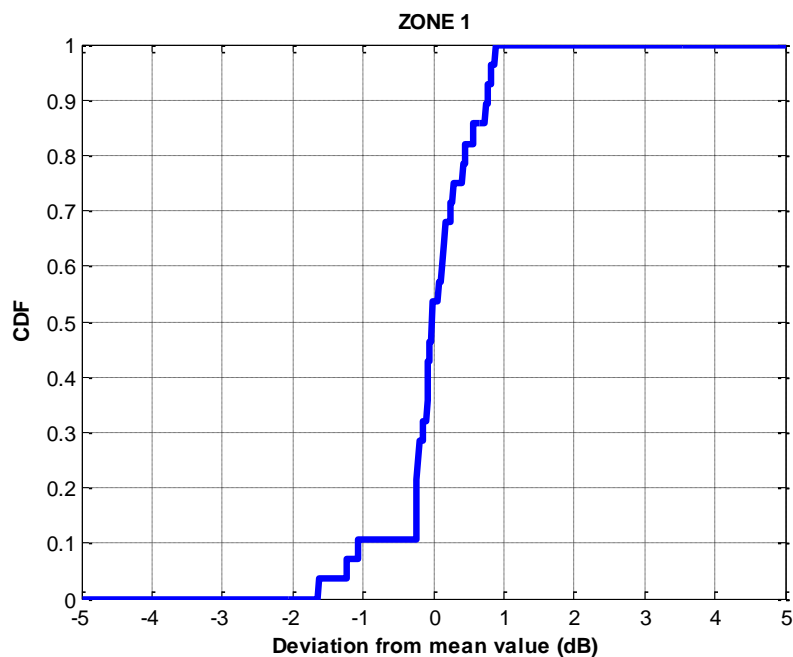


Figura 5.82: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.6 a 0.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.83, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

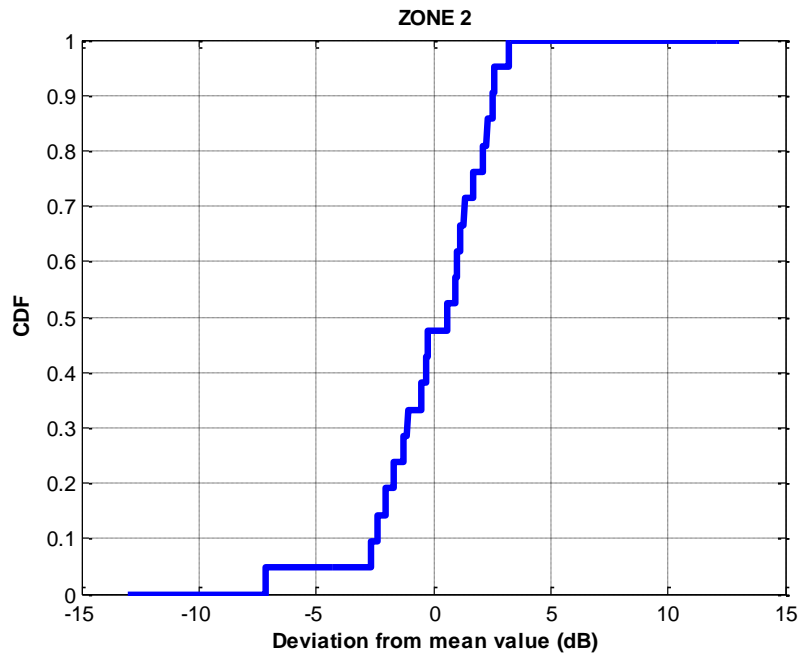


Figura 5.83: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7 a 3 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.84, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

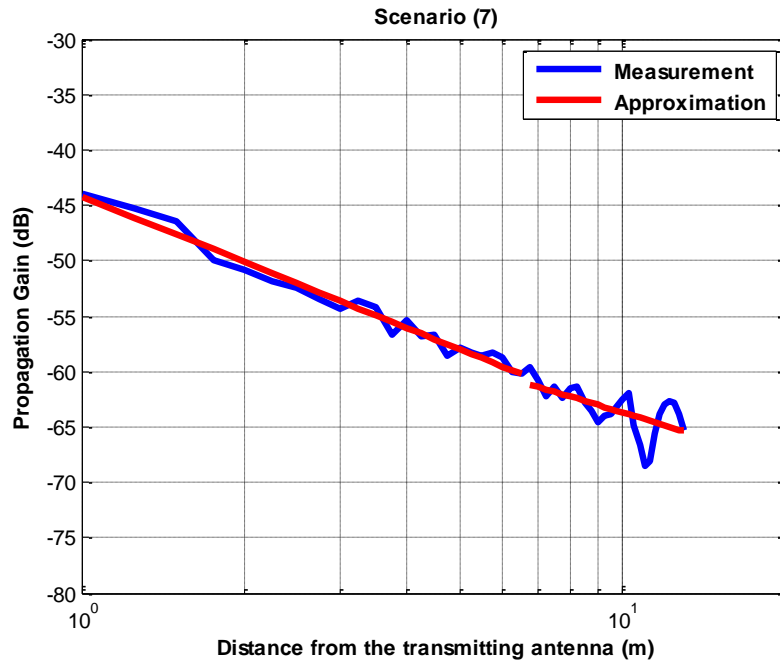


Figura 5.84: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9716$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.4756$.

Como se puede ver, hasta 6.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 6.75 m. se puede modelar como una combinación de espacio libre y guía de onda.

Tabla 5.22: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-44.19	1.9716	6.75
-61.17	1.4756	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 44.19 + 19.72 * \log_{10} d & d \leq 6.75 \text{ m} \\ 61.17 + 14.76 * \log_{10} (d/6.75) & d > 6.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.85, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

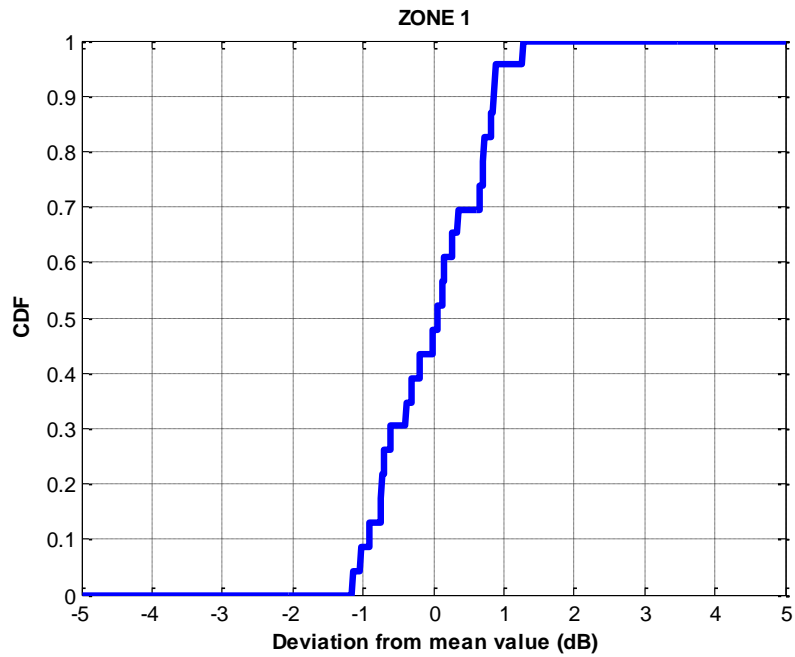


Figura 5.85: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.2 a 1.25 dB en la zona 1.

La Figura 5.86, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

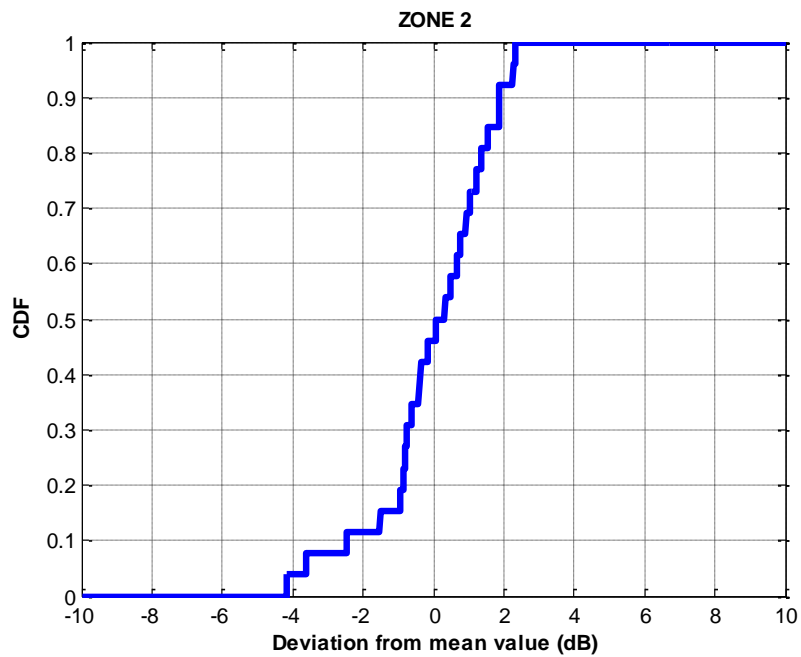


Figura 5.86: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -4 a 2.2 dB en la zona 2.

5.1.4.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 20.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 20.5 metros en pasos 0.25 metros.

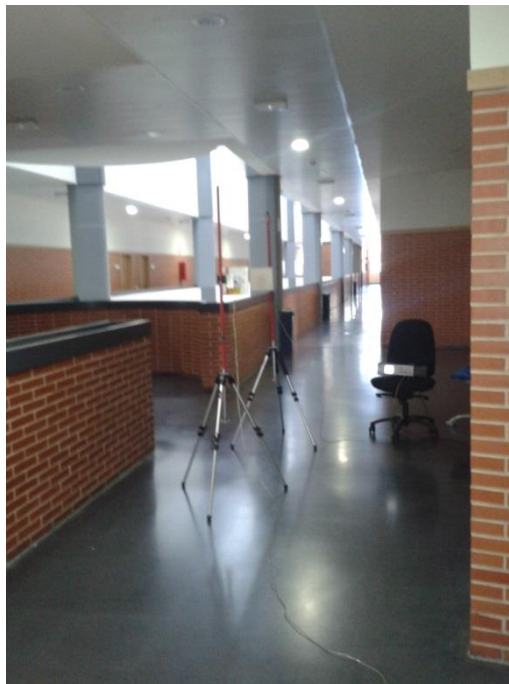


Figura 5.87: Foto pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C

Polarización Vertical.

La Figura 5.88, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

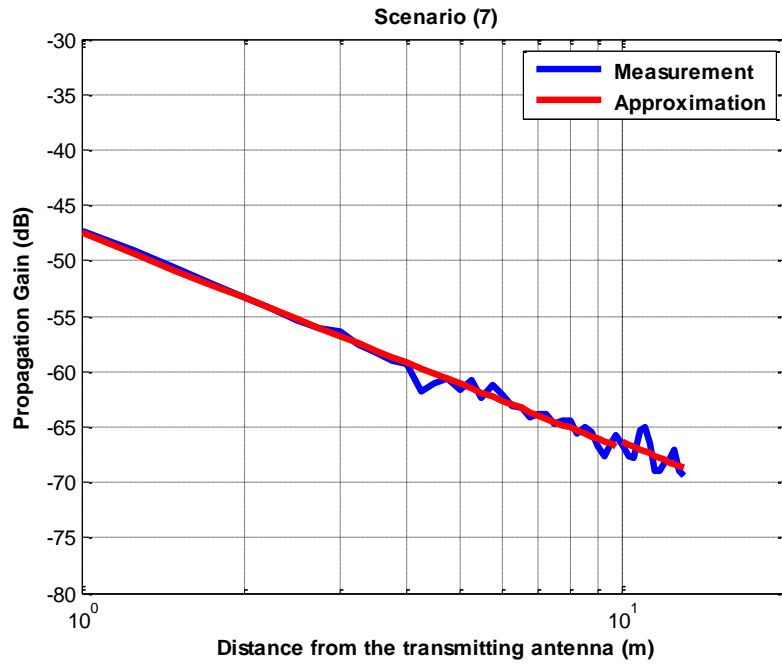


Figura 5.88: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9469$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.08$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.23: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-47.50	1.9469	10
-66.35	2.08	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 47.50 + 19.47 * \log_{10} d & d \leq 10 \text{ m} \\ 66.35 + 20.8 * \log_{10} (d/10) & d > 10 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.89, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

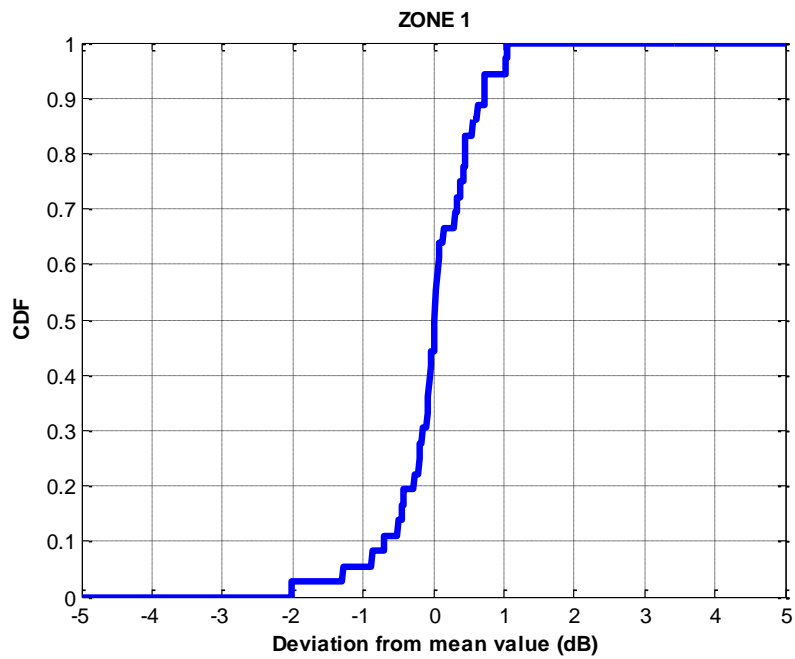


Figura 5.89: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2 a 1 dB en la zona 1.

La Figura 5.90, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

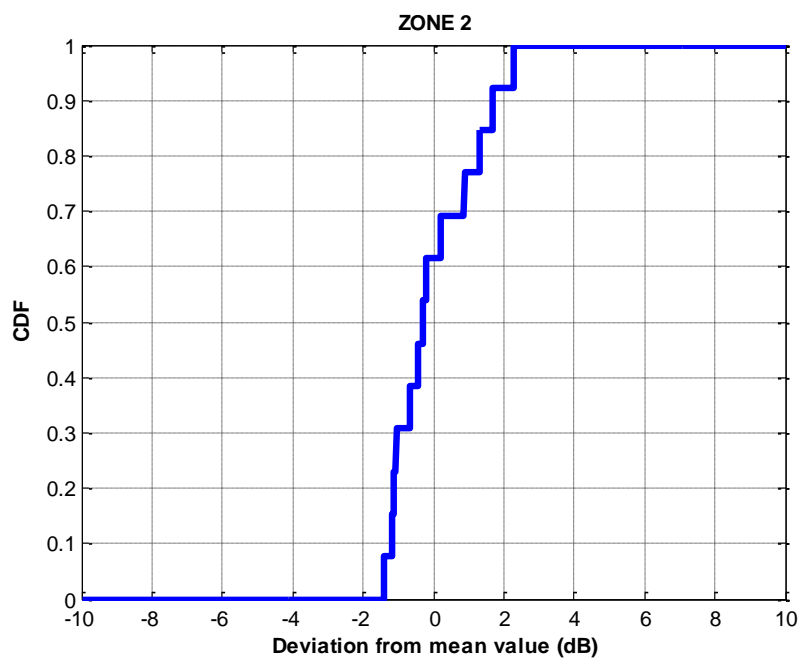


Figura 5.90: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -1.4 a 2.2 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.91, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

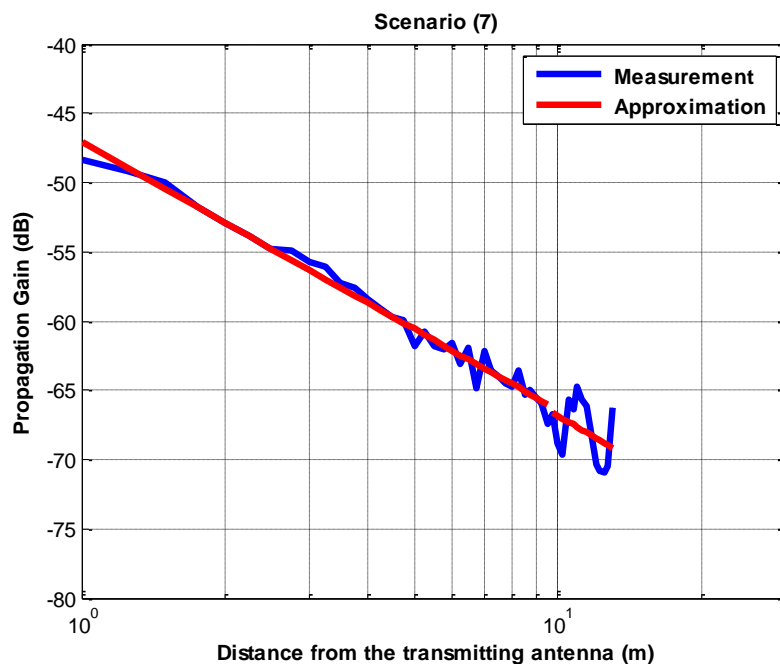


Figura 5.91: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9357$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.009$

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.24: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-47.0516	1.9357	9.75
-66.62	2.009	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 47.05 + 19.36 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 66.62 + 20.09 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.92, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

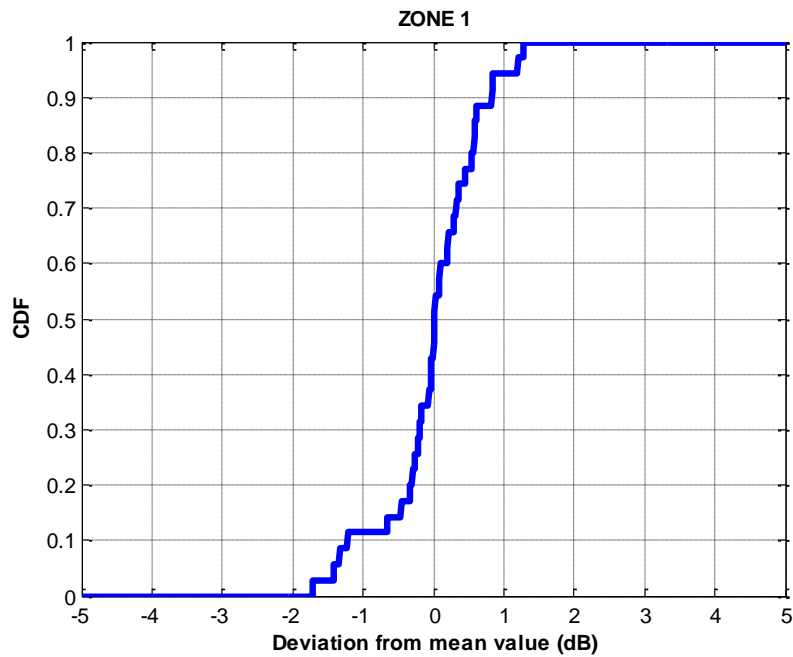


Figura 5.92: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.6 a 1.2 dB en la zona 1.

La Figura 5.93 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

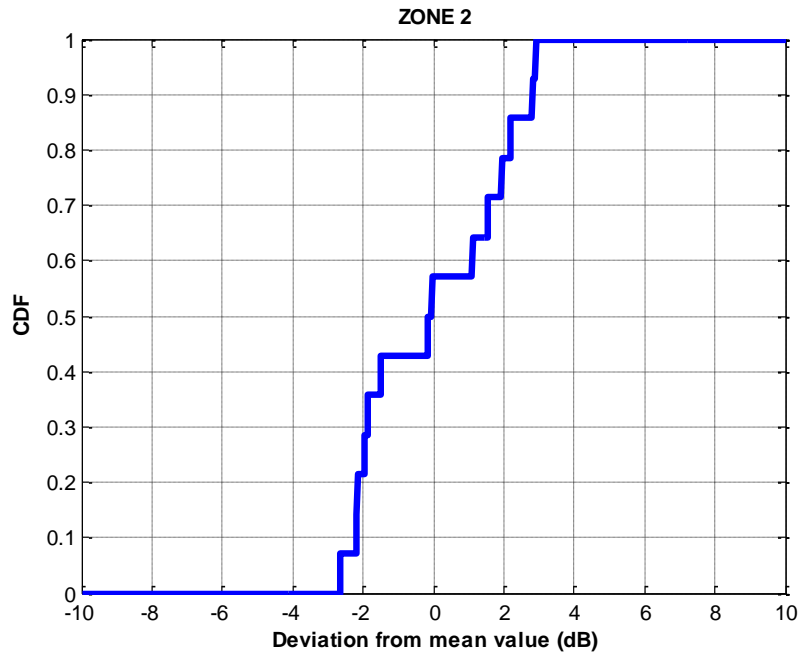


Figura 5.93: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -2.5 a 2.8 dB en la zona 2.

Las Figura 5.94 y Figura **5.95**, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias durante todo el enlace tanto para la polarización vertical como para la polarización horizontal.

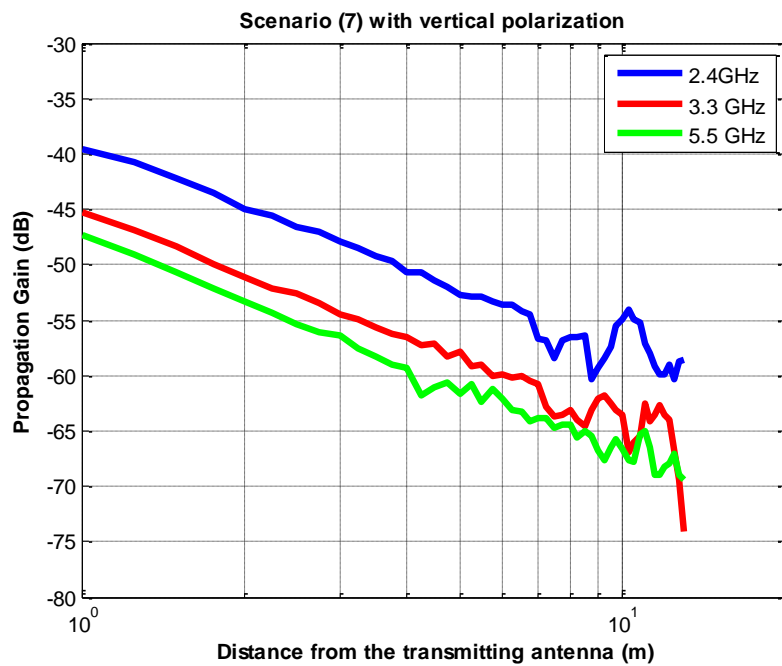


Figura 5.94: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 7)

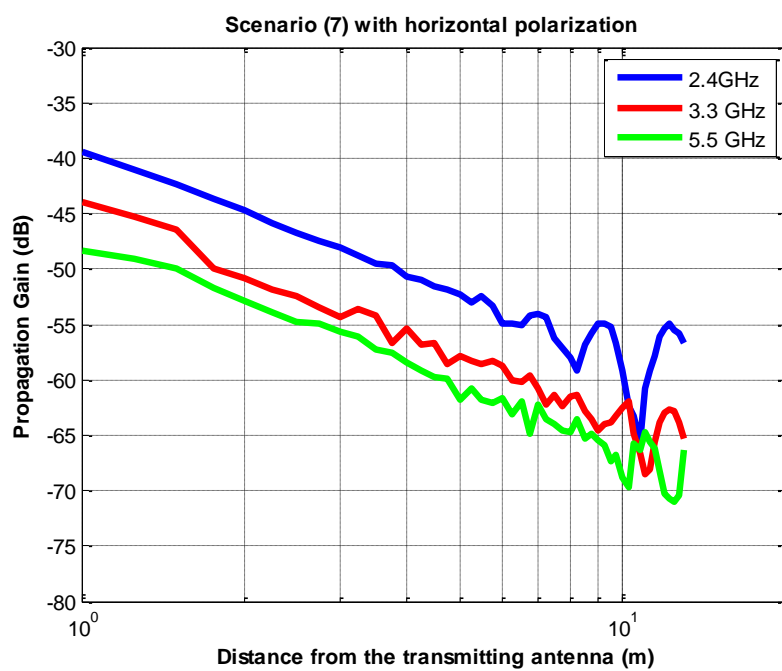


Figura 5.95: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 7)

5.2 Edificio B

5.2.1 Escenario 4A. Pasillo del tercer piso Edificio B junto a los despachos B340 – B353.

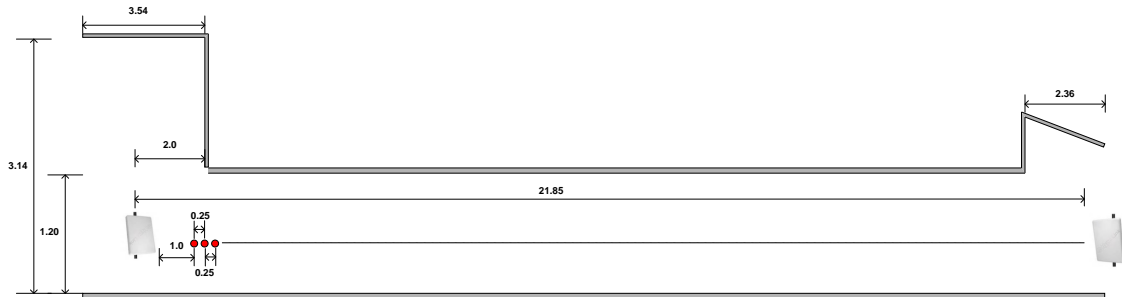


Figura 5.96: Plano del pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

5.2.1.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 22 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 22 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.97: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.98, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

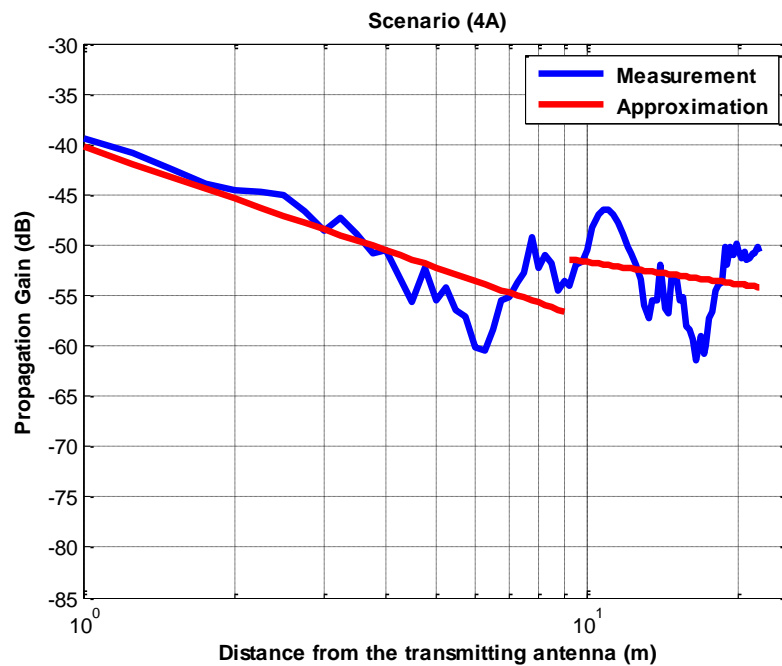


Figura 5.98: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.7110$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.7229$.

Como se puede ver, hasta 9.25 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 9.25 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.25: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-40.265	1.711	9.25
-51.46	0.7229	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 40.26 + 17.11 * \log_{10} d & d \leq 9.25 \text{ m} \\ 51.46 + 7.23 * \log_{10} (d/9.25) & d > 9.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.99 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

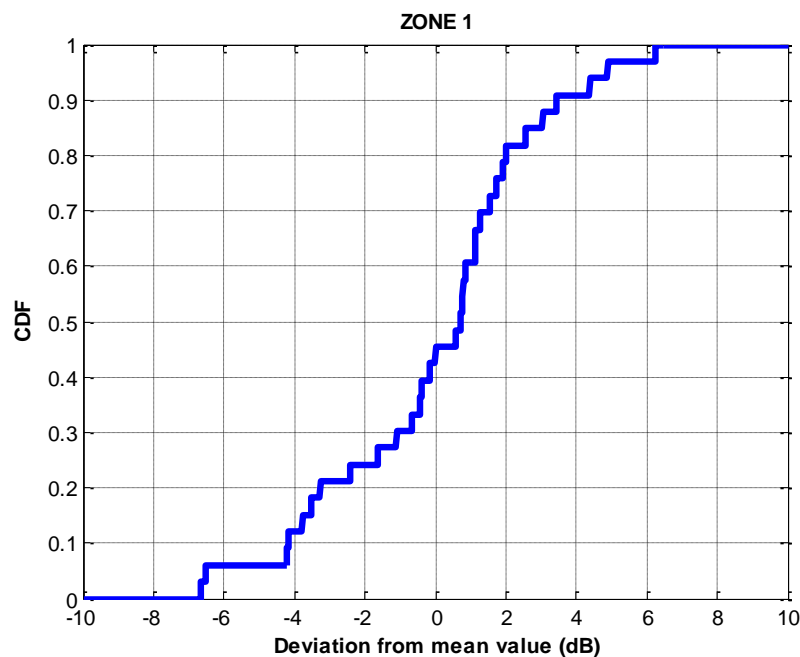


Figura 5.99: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -6.5 a 6 dB en la zona 1.

La Figura 5.100 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

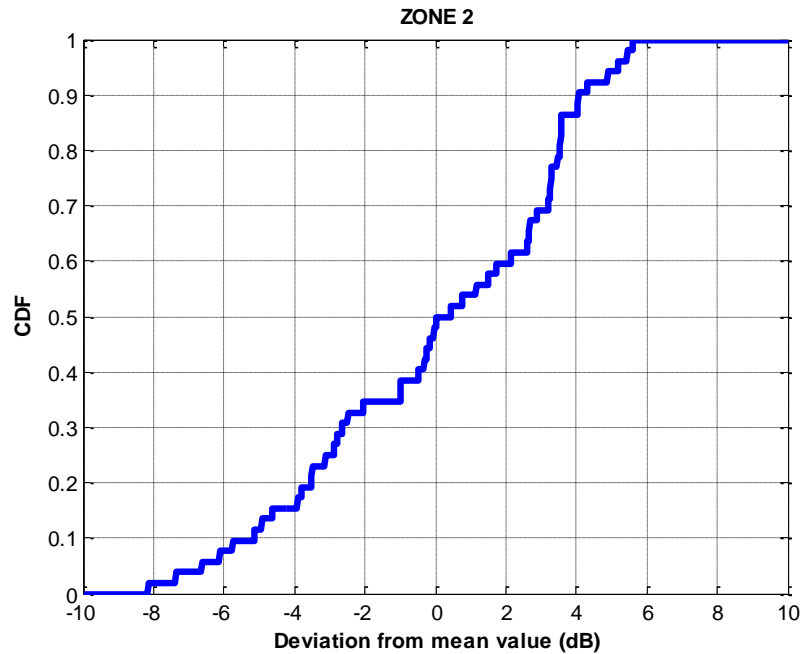


Figura 5.100: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -8 a 5.6 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.101, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

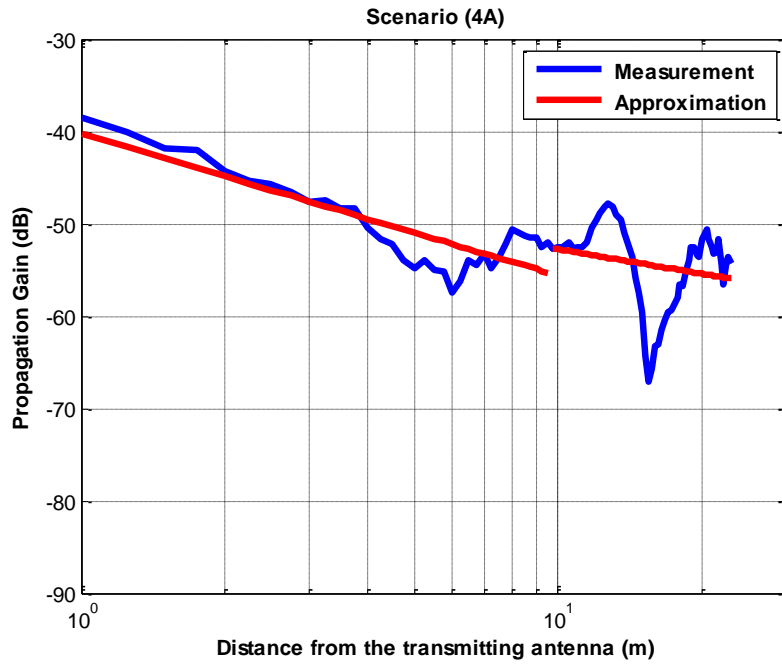


Figura 5.101: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.5393$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.88$.

Como se puede ver, hasta 9.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 9.75 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.26: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-40.219	1.5393	9.75
-52.67	0.88	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 40.22 + 15.4 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 52.67 + 8.8 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.102 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

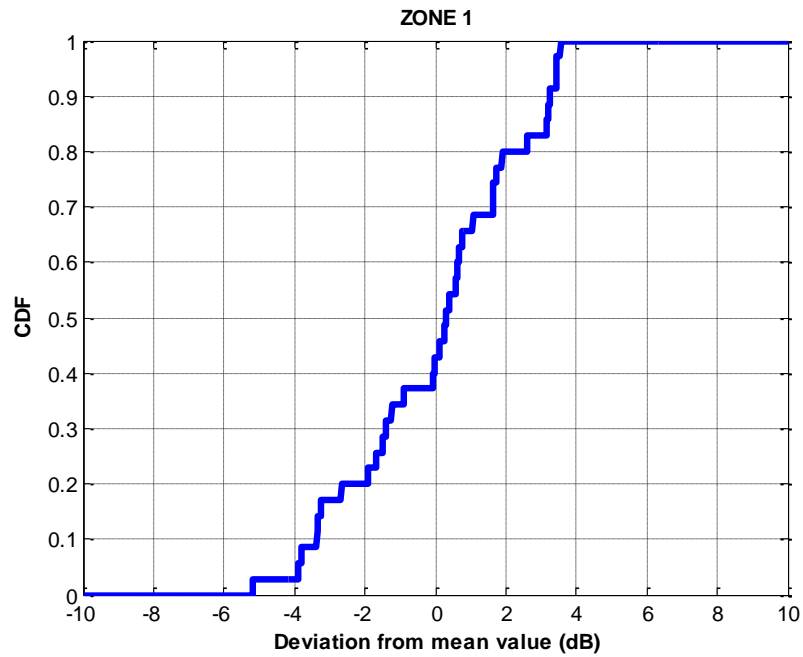


Figura 5.102: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -5 a 3.2 dB en la zona 1.

La Figura 5.103 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

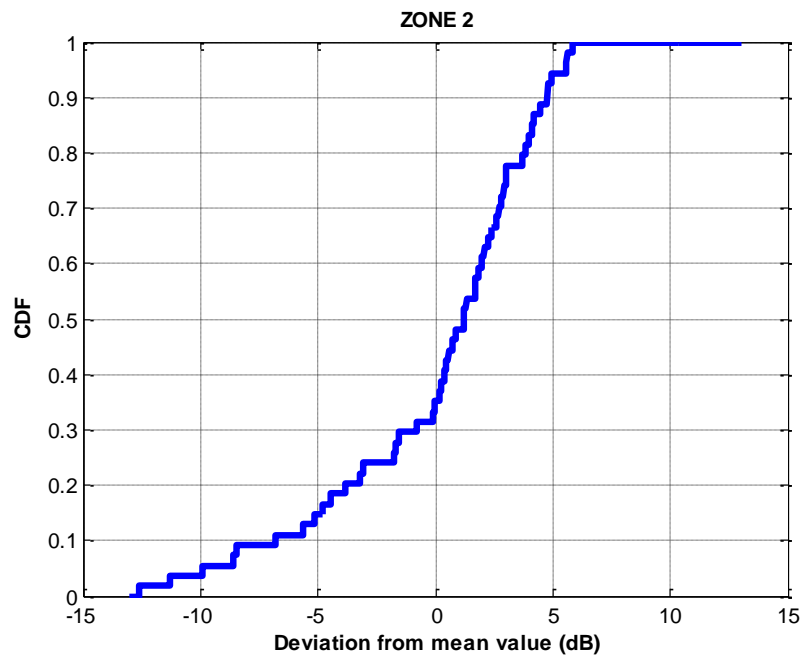


Figura 5.103: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -12.2 a 5.8 dB en la zona 2.

5.2.1.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 22.75 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 22.75 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.104: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.105, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

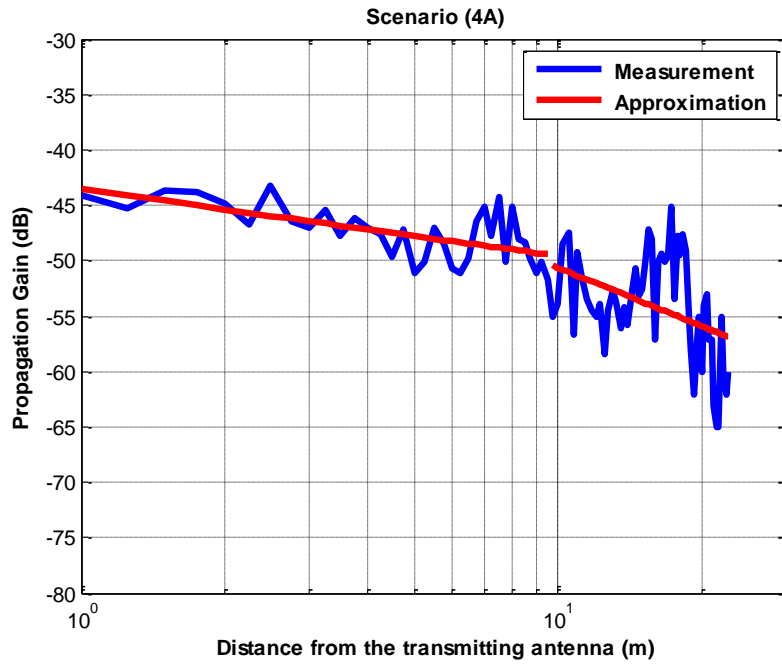


Figura 5.105: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=0.6021$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.7420$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.27: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-43.555	0.6021	9.75
-50.46	1.742	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 43.55 + 6.02 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 50.46 + 17.42 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.106 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

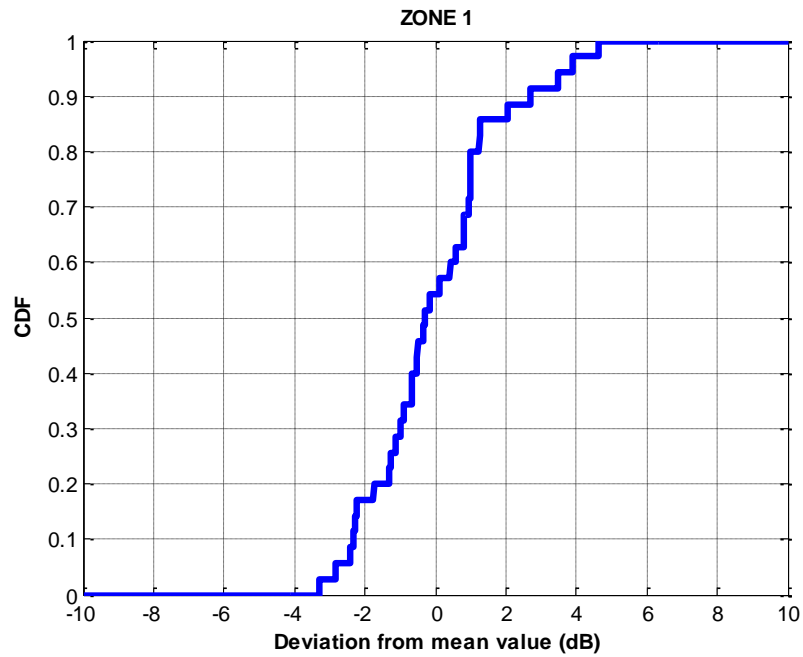


Figura 5.106: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3 a 4.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.107 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

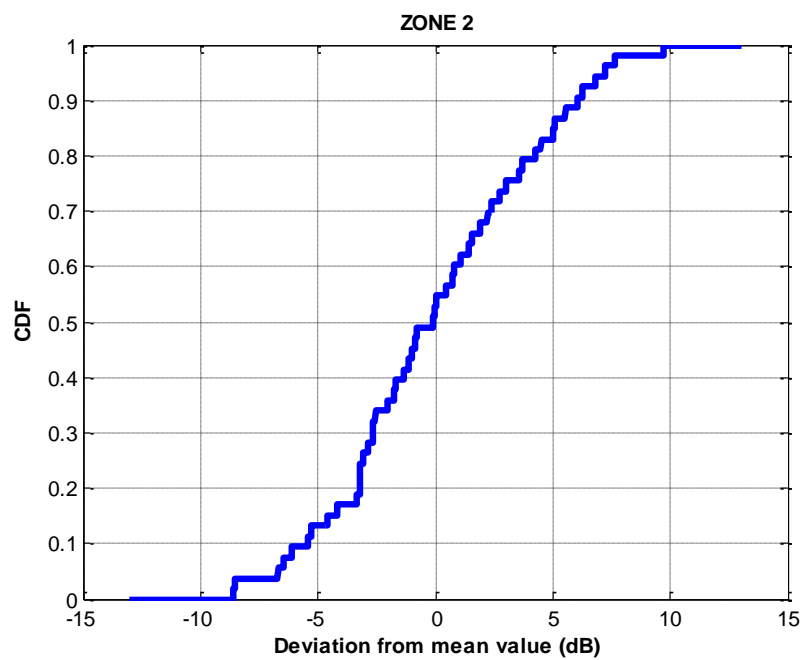


Figura 5.107: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -8.2 a 8.8 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.108, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

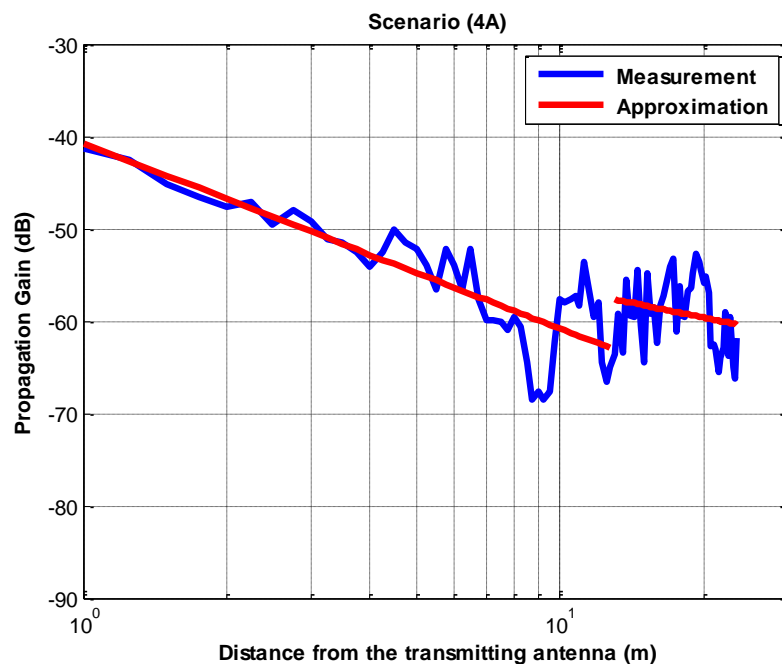


Figura 5.108: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.0105$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.0617$.

Como se puede ver, hasta 13 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 13 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.28: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-40.717	2.0105	13
-57.64	1.0617	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 42.72 + 20.10 * \log_{10} d & d \leq 13 \text{ m} \\ 57.64 + 10.62 * \log_{10} (d/13) & d > 13 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.109 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

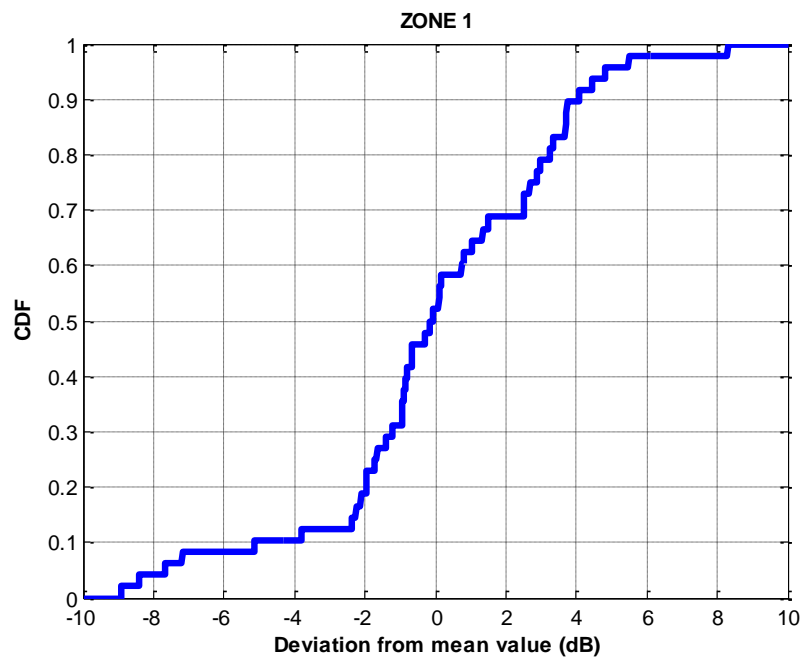


Figura 5.109: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -8.8 a 8 dB en la zona 1.

La Figura 5.110 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

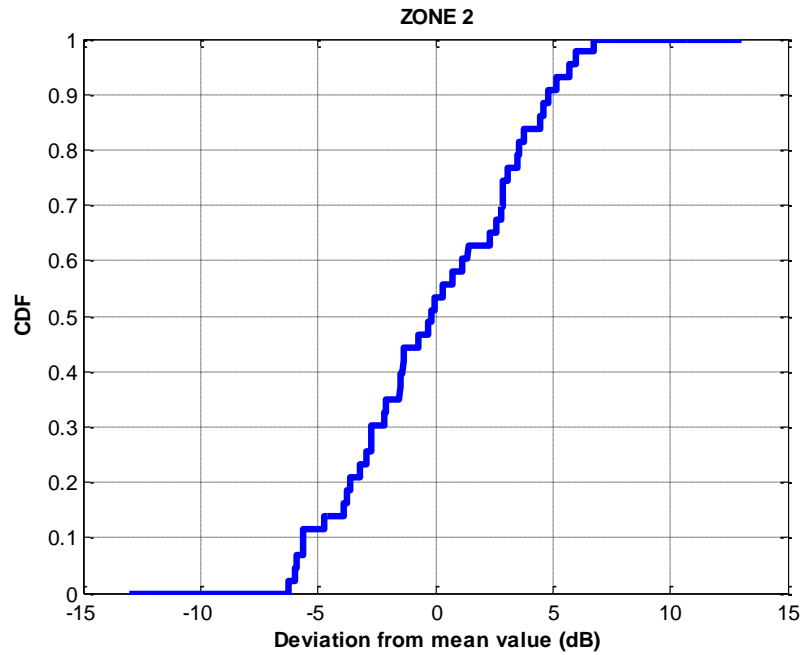


Figura 5.110: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -6 a 6.2 dB en la zona 2.

5.2.1.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 13.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 13.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.111: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.112, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

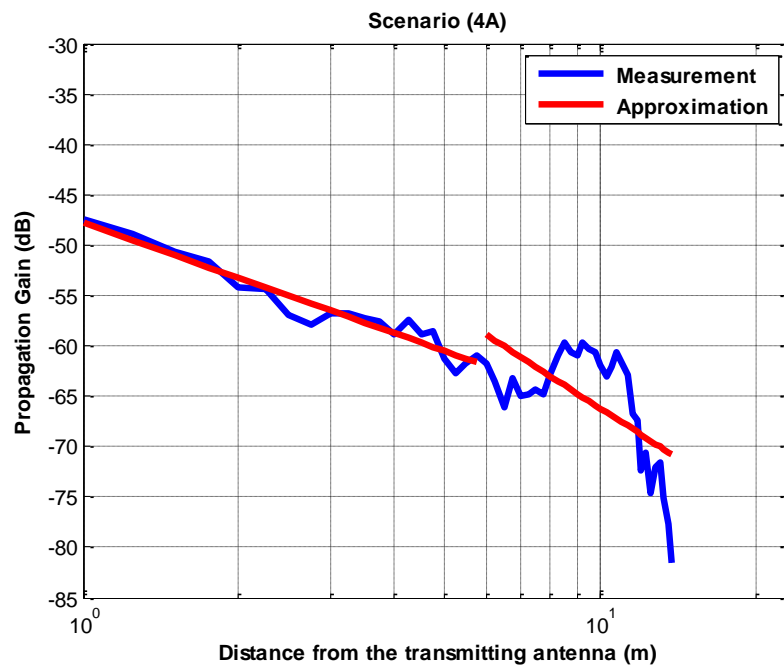


Figura 5.112: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.8151$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=3.3042$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.29: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-47.828	1.8151	6
-58.92	3.3042	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 47.83 + 18.15 * \log_{10} d & d \leq 6 \text{ m} \\ 58.92 + 33.04 * \log_{10} (d/6) & d > 6 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.113 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

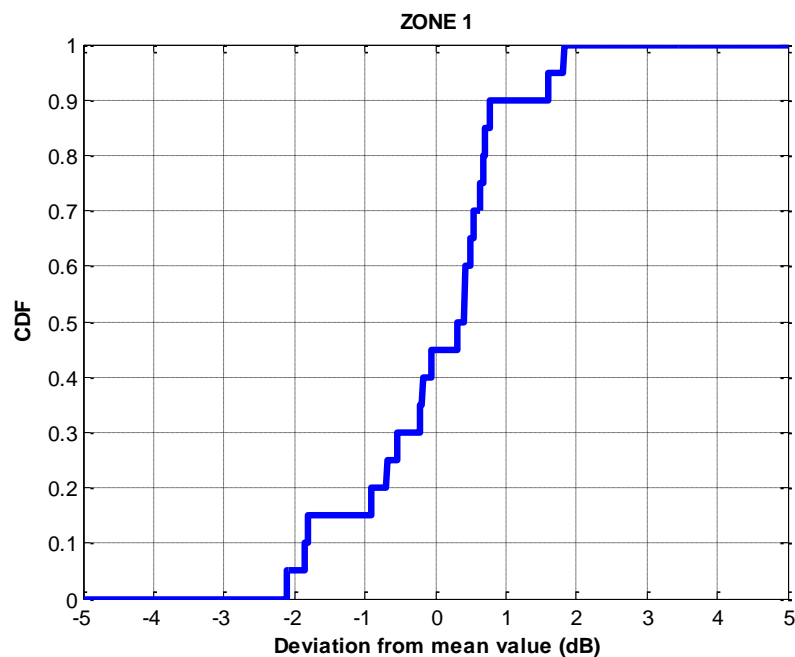


Figura 5.113: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.1 a 1.6 dB en la zona 1.

La Figura 5.114 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

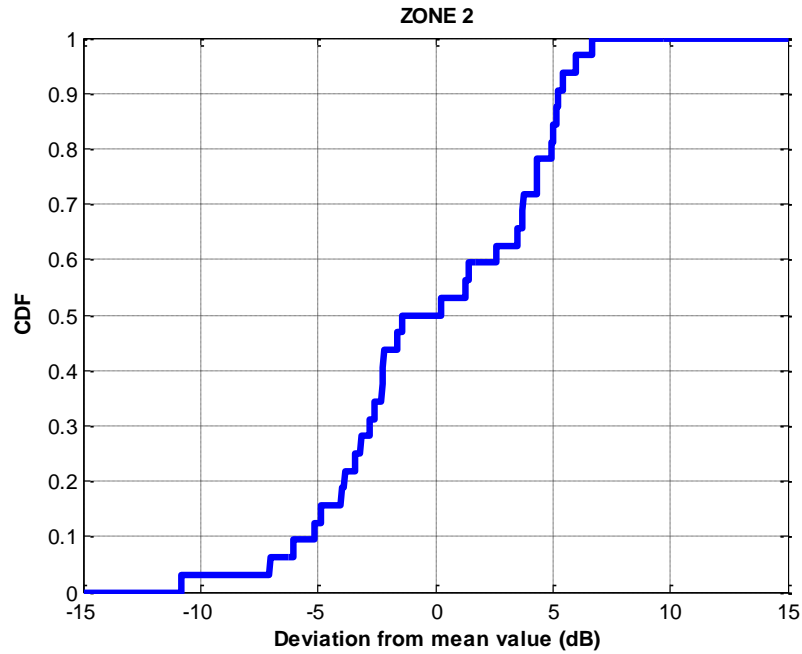


Figura 5.114: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -10.2 a 6.2 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.115, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

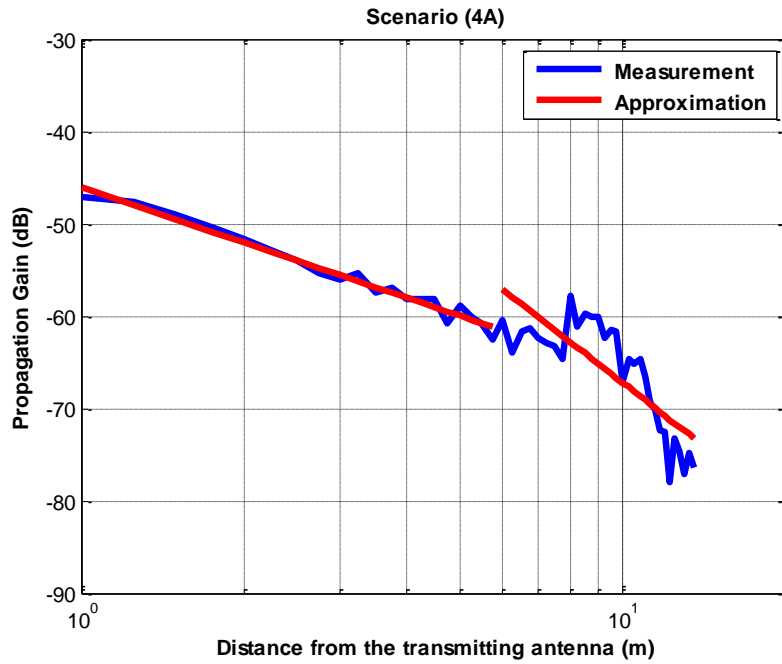


Figura 5.115: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.99$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=4.5573$.

Tabla 5.30: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-46.044	1.99	6
-57.12	4.557	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 46.04 + 19.9 * \log_{10} d & d \leq 6 \text{ m} \\ 57.12 + 45.57 * \log_{10} (d/6) & d > 6 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.116 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

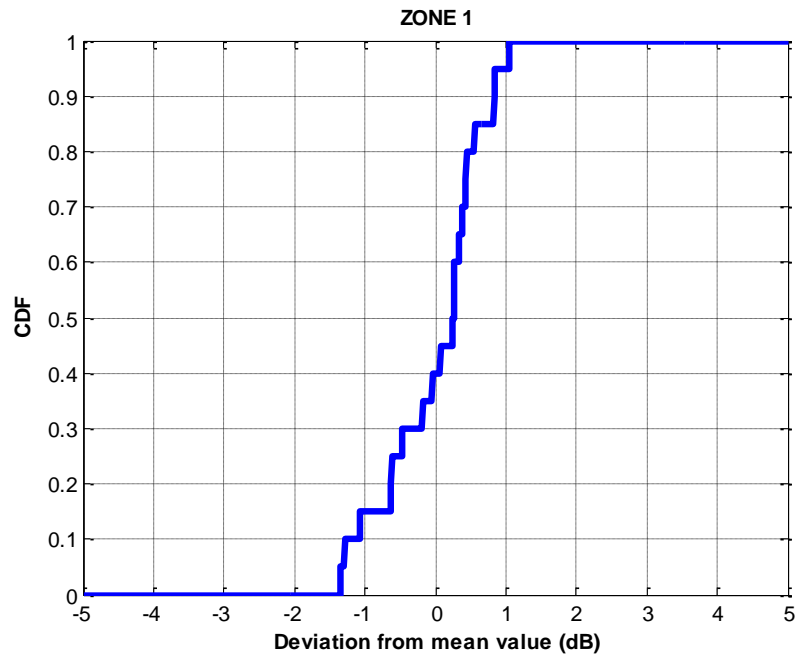


Figura 5.116: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.3 a 1 dB en la zona 1.

La Figura 5.117 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

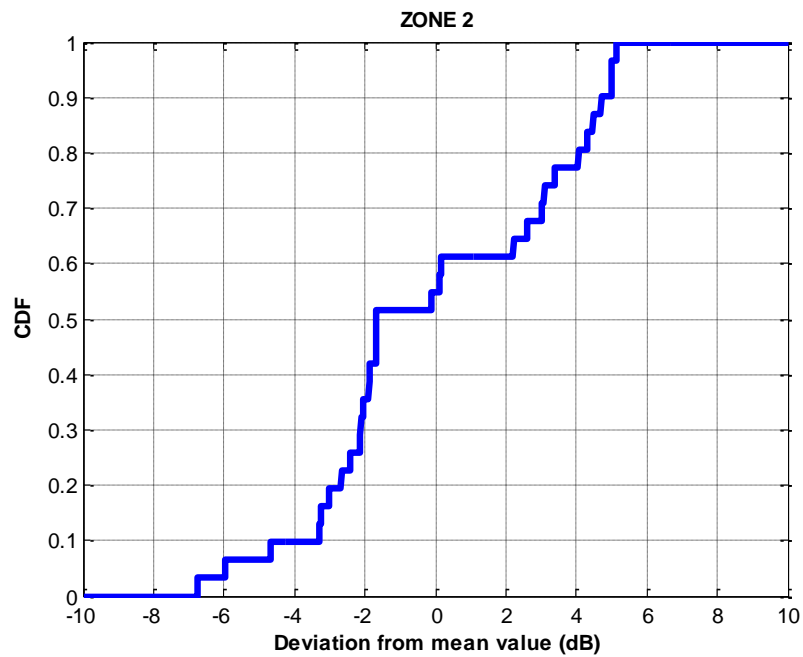


Figura 5.117: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -6.2 a 5 dB en la zona 2.

Las Figura 5.118 y Figura 5.119, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias durante todo el enlace tanto para la polarización vertical como para la polarización horizontal.

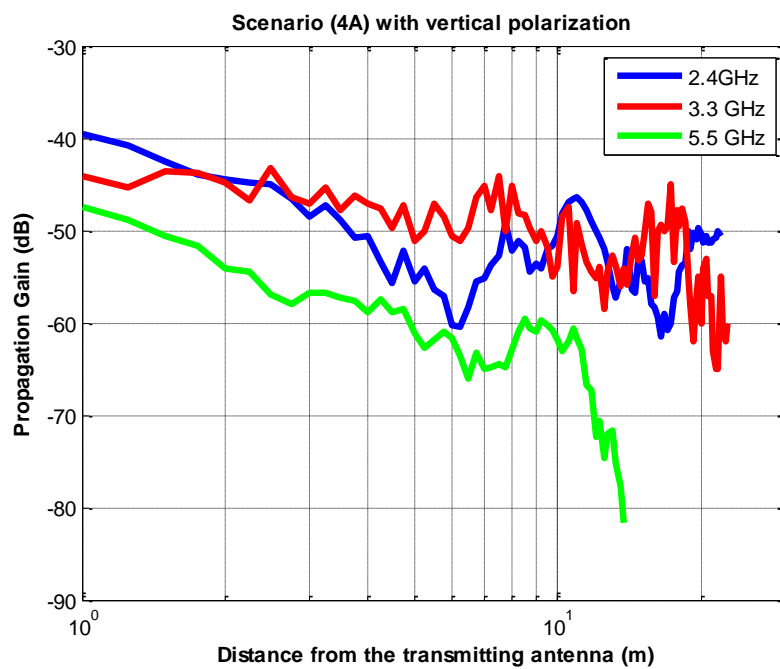


Figura 5.118: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 4 A)

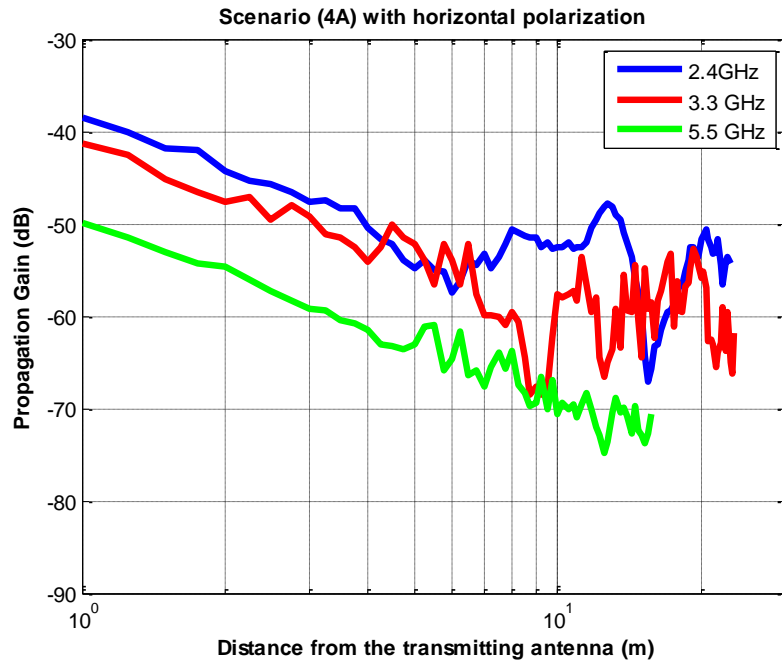


Figura 5.119: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 4 A)

5.2.2 Escenario 4B. Pasillo del tercer piso Edificio B junto a los despachos B340 – B353.

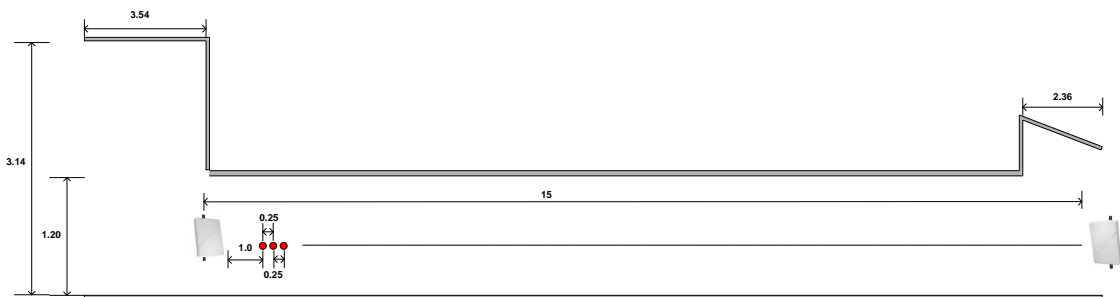


Figura 5.120: Plano del pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

5.2.2.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 20.75 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.

- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 20.75 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.121: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.122, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

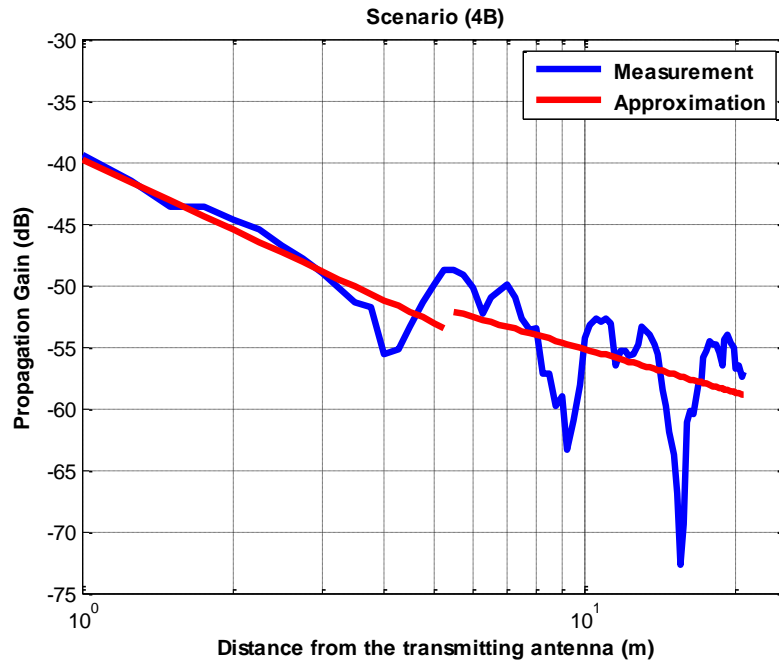


Figura 5.122: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.891$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.1723$.

Como se puede ver, hasta 5.5 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 5.5 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.31: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-39.808	1.891	5.5
-52.12	1.1723	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 39.81 + 18.91 * \log_{10} d & d \leq 5.5 \text{ m} \\ 52.12 + 11.72 * \log_{10} (d/5.5) & d > 5.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.123 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

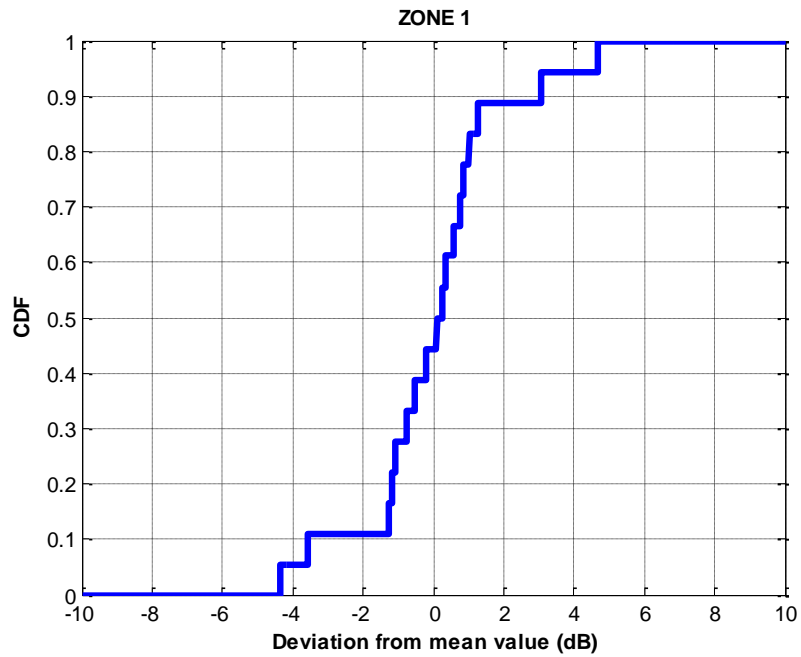


Figura 5.123: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -4.2 a 4.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.124 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

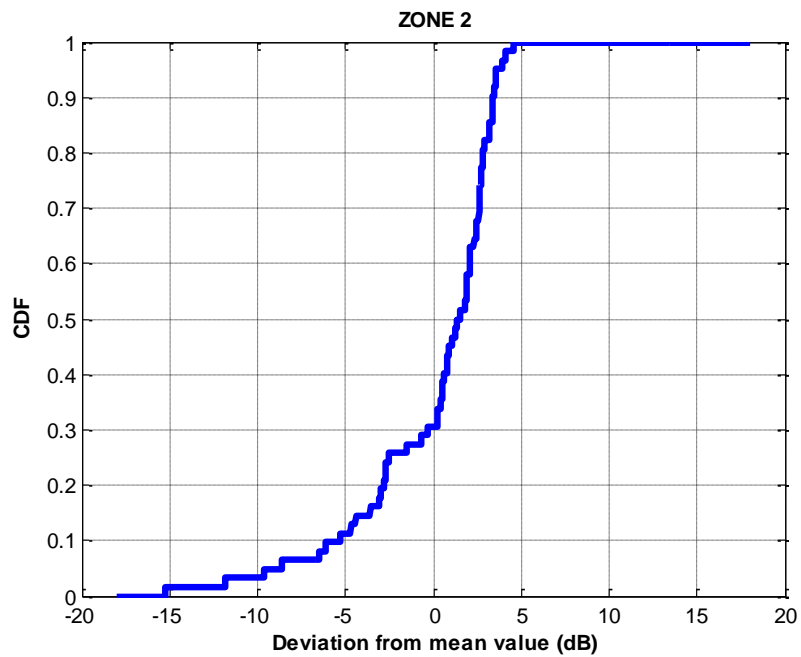


Figura 5.124: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -15 a 4.5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.125, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

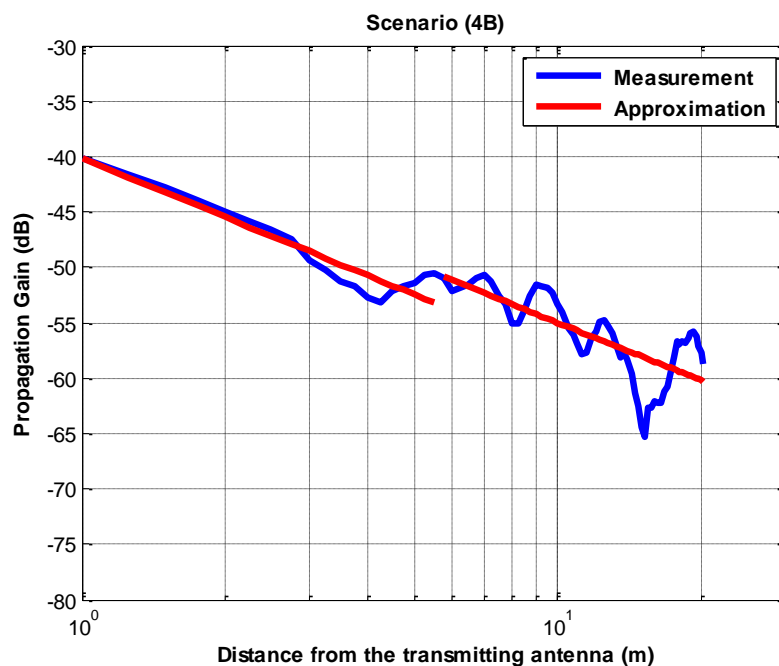


Figura 5.125: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.7495$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.7247$.

Como se puede ver, los exponentes son aproximadamente iguales lo que se puede modelar como espacio libre todo el trayecto.

Tabla 5.32: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-40.219	1.7495	5.75
-60.29	1.7247	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 40.22 + 17.49 * \log_{10} d & d \leq 5.75 \text{ m} \\ 60.29 + 17.25 * \log_{10} (d/5.75) & d > 5.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.126 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

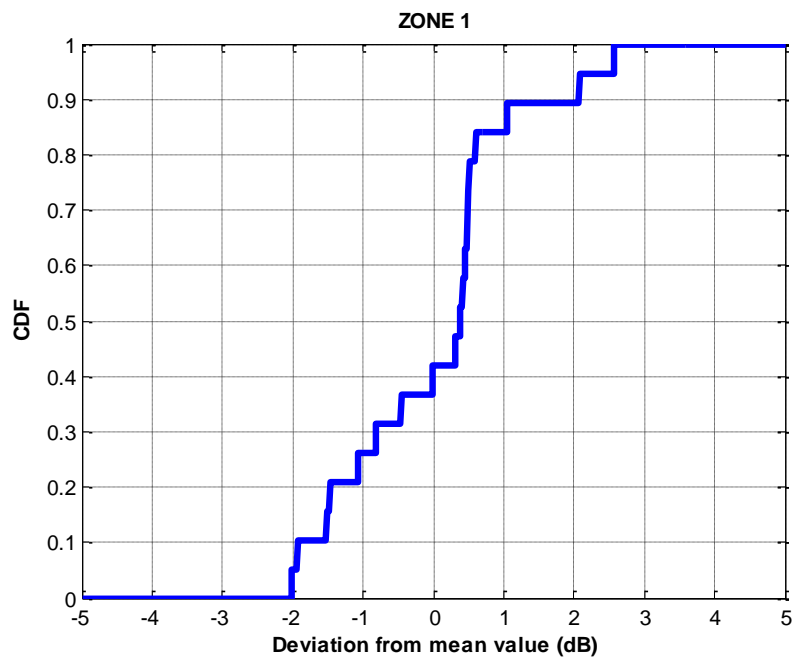


Figura 5.126: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2 a 2.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.127 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

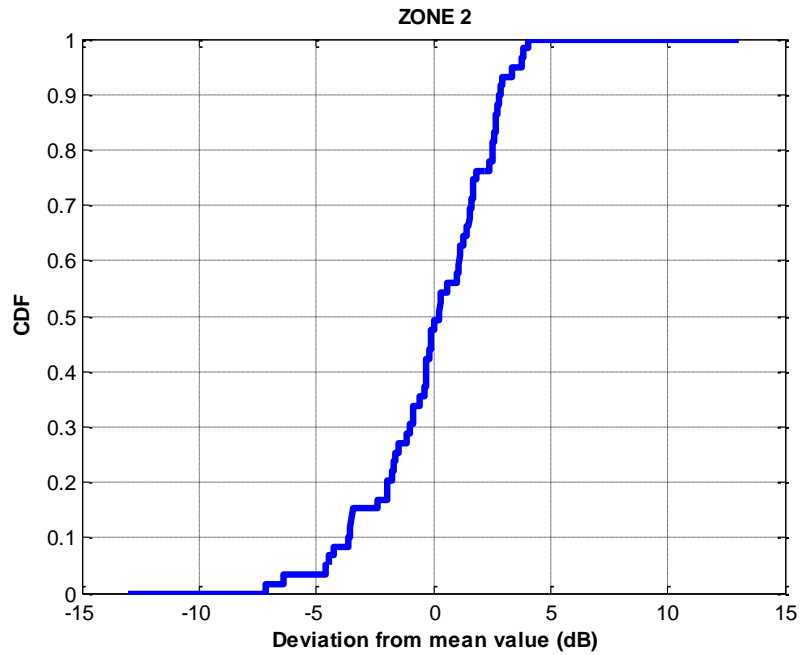


Figura 5.127: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7 a 4 dB en la zona 2.

5.2.2.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 20.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 20.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.128: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.129, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

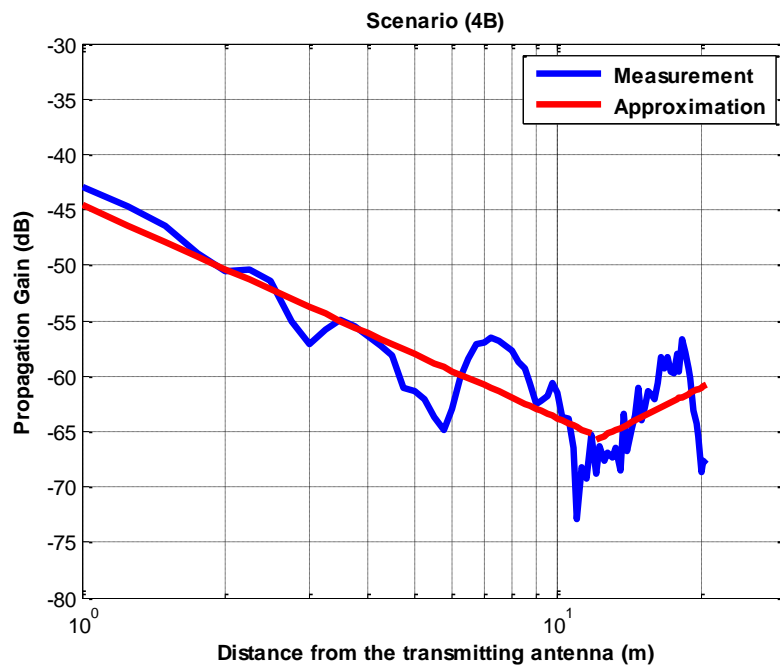


Figura 5.129: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.93$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -2.149$.

Tabla 5.33: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-44.526	1.93	12
-65.8	-2.149	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 44.53 + 19.3 * \log_{10} d & d \leq 12 \text{ m} \\ 65.8 - 21.49 * \log_{10} (d/12) & d > 12 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.130 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

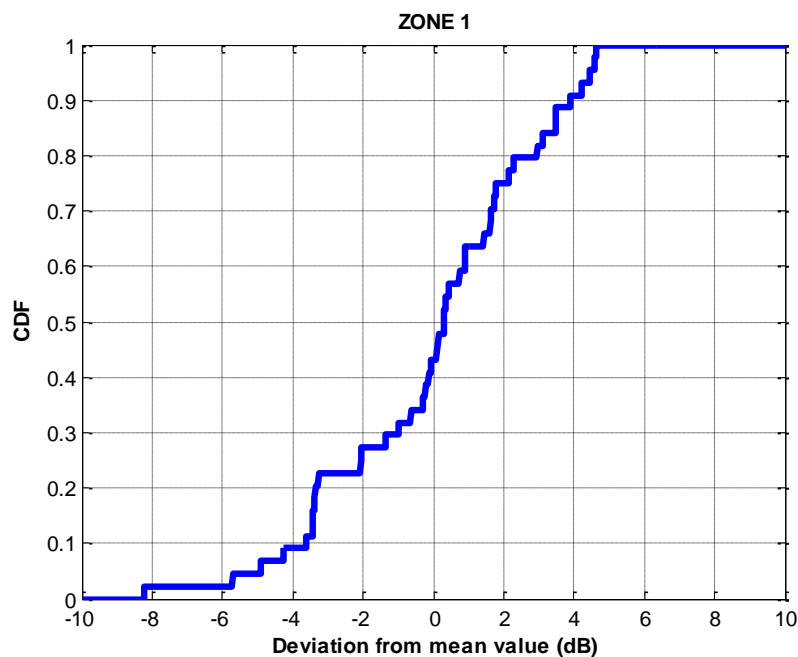


Figura 5.130: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -8 a 4.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.131 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

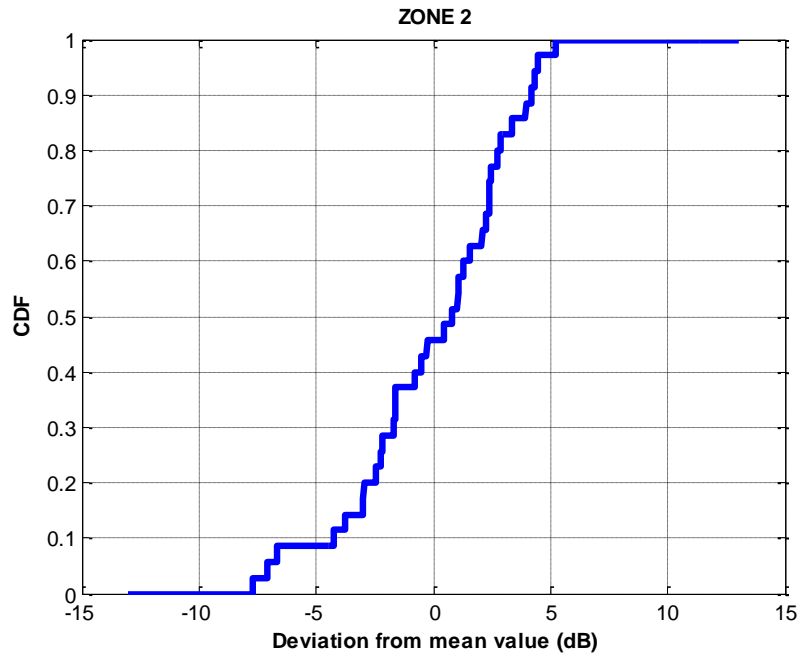


Figura 5.131: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7.8 a 5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.132, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

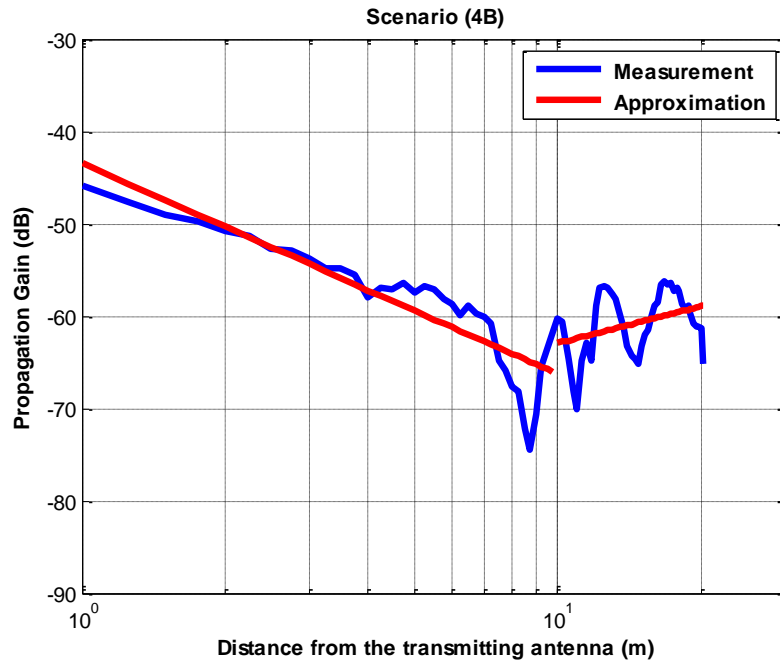


Figura 5.132: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas para propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.2864$ es mayor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -1.3315$.

Tabla 5.34: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-43.42	2.2864	10
-62.94	-1.3315	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 43.42 + 22.86 * \log_{10} d & d \leq 10 \text{ m} \\ 62.94 - 13.31 * \log_{10} (d/10) & d > 10 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.133 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

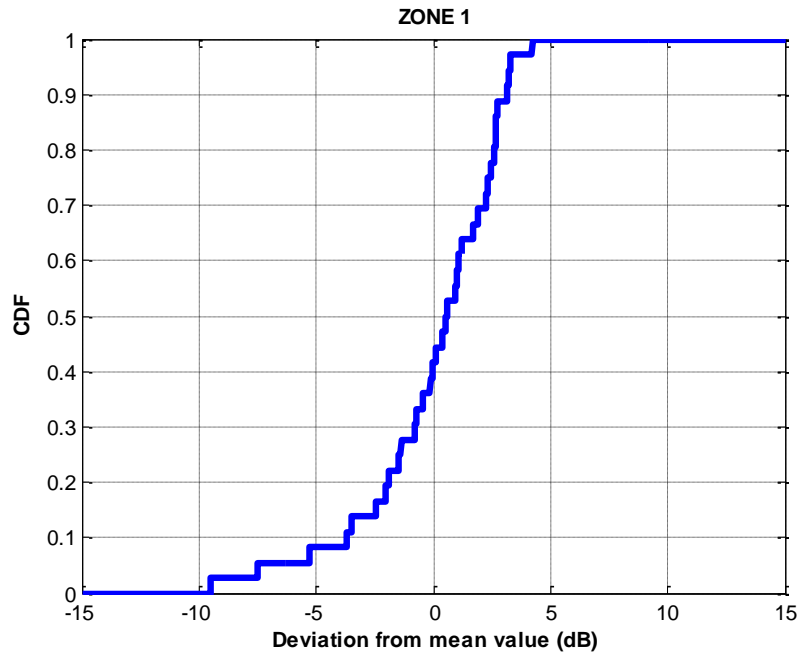


Figura 5.133: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -9.7 a 4.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.134 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

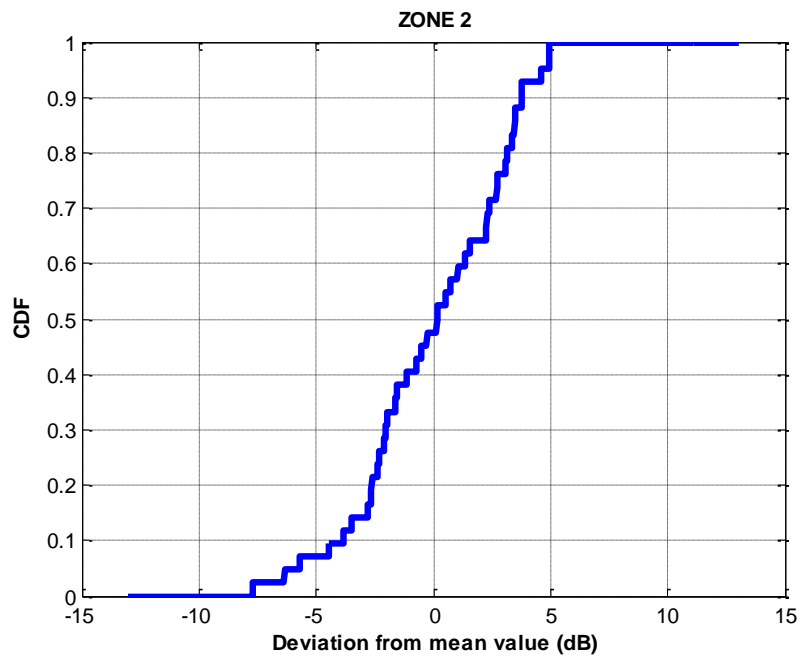


Figura 5.134: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7.8 a 5 dB en la zona 2.

5.2.2.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 20.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 20.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.135: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B

Polarización Vertical

La Figura 5.136, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

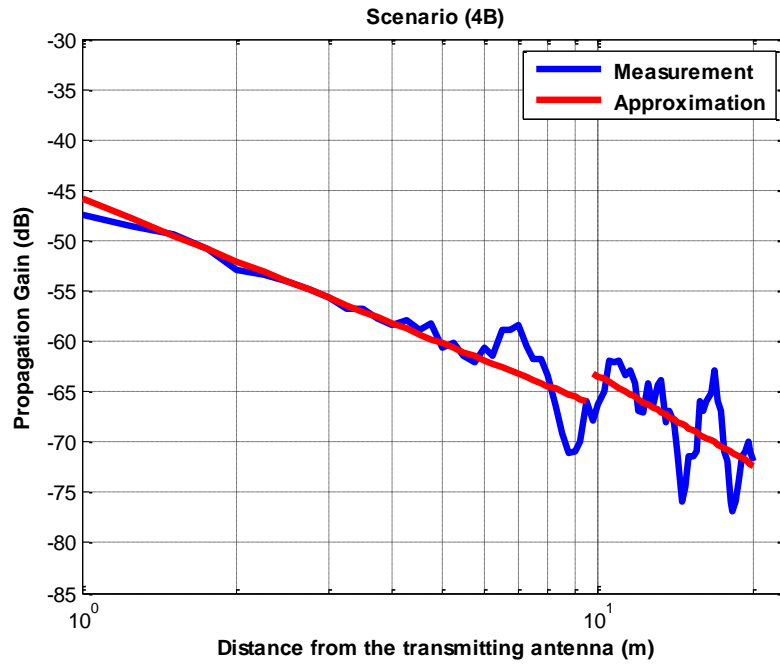


Figura 5.136: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.0557$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.9389$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.35: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-45.86	2.0557	9.75
-63.13	2.9389	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 45.86 + 20.56 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 63.13 + 29.39 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.137 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

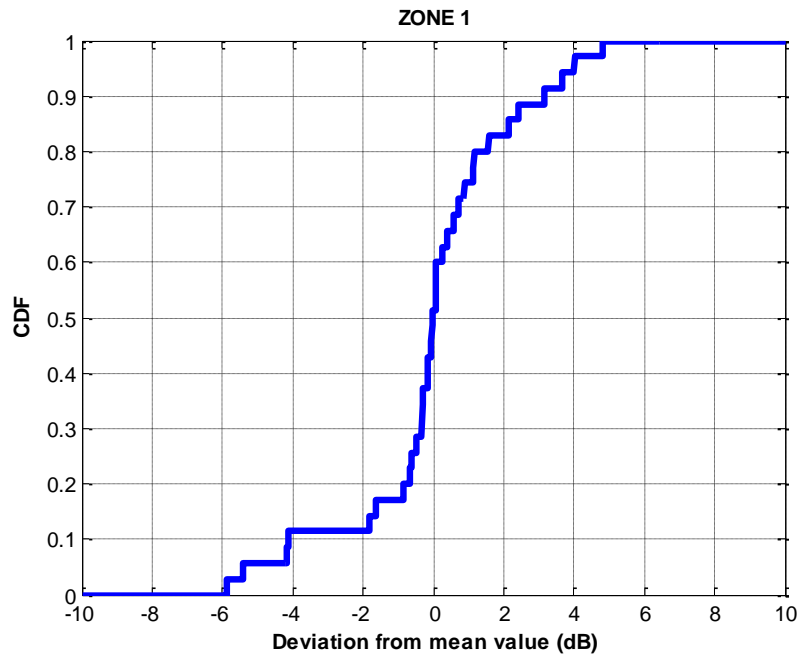


Figura 5.137: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -5.8 a 4.3 dB en la zona 1.

La Figura 5.138 representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

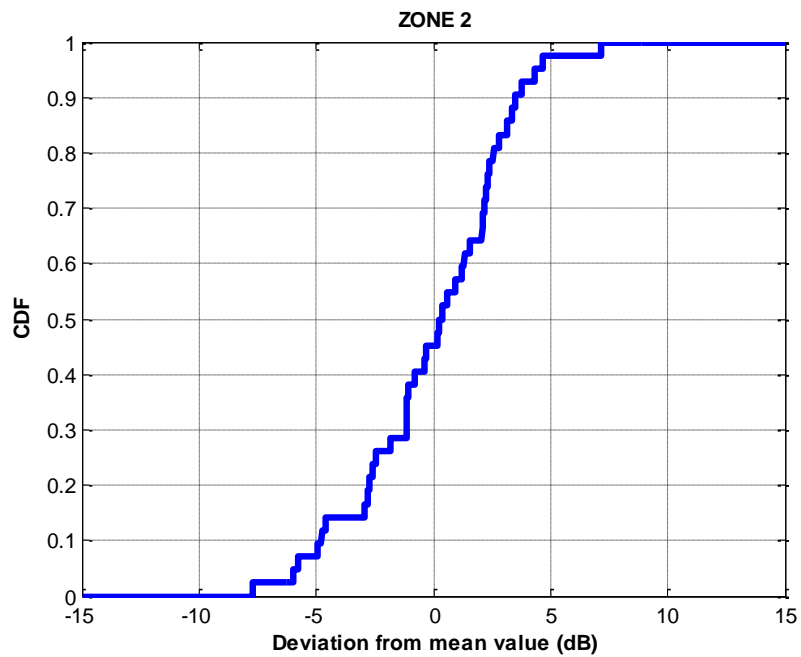


Figura 5.138: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7.8 a 6.8 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.139, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

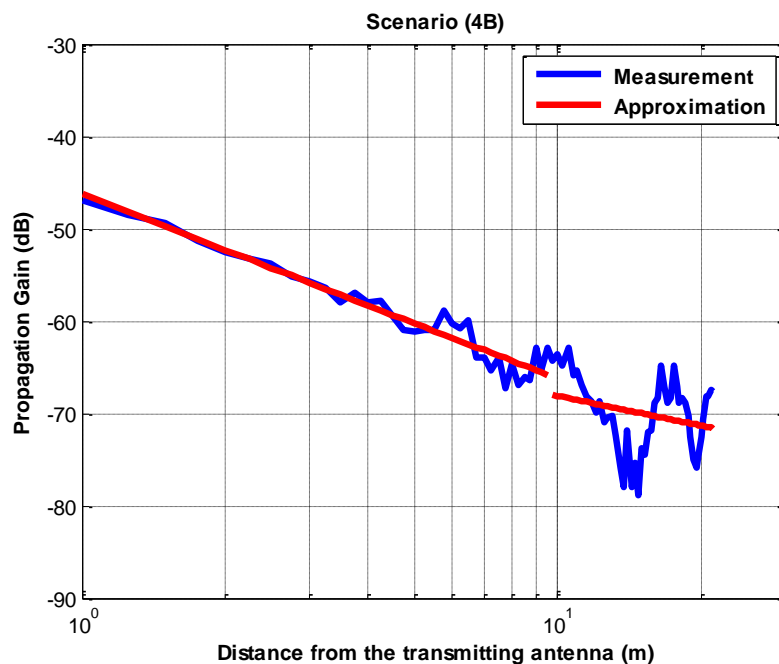


Figura 5.139: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9953$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.0699$.

Como se puede ver, hasta 9.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 9.75 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.36: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-46.288	1.9953	9.75
-67.99	1.0699	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 46.29 + 19.95 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 67.99 + 10.7 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La **Figura 5.140** representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

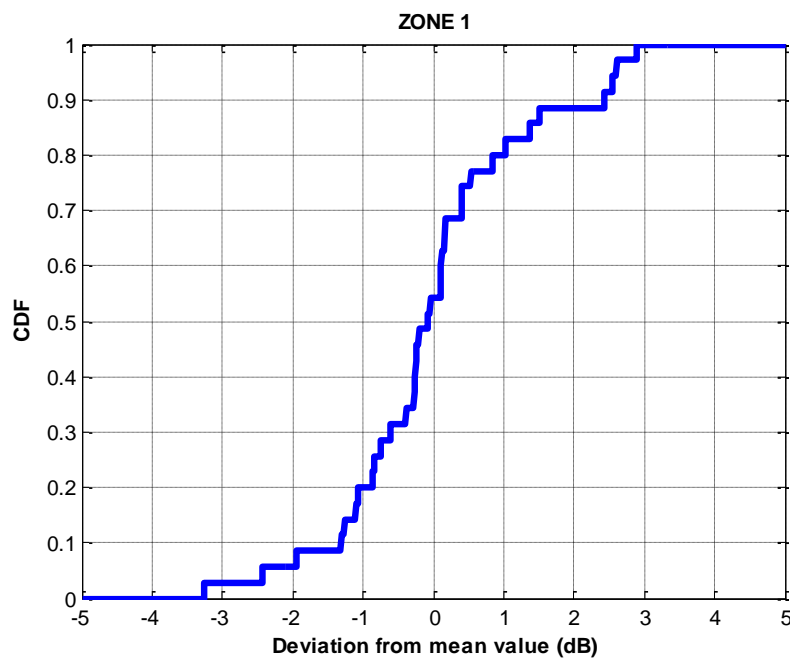


Figura 5.140: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3.2 a 2.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.141, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

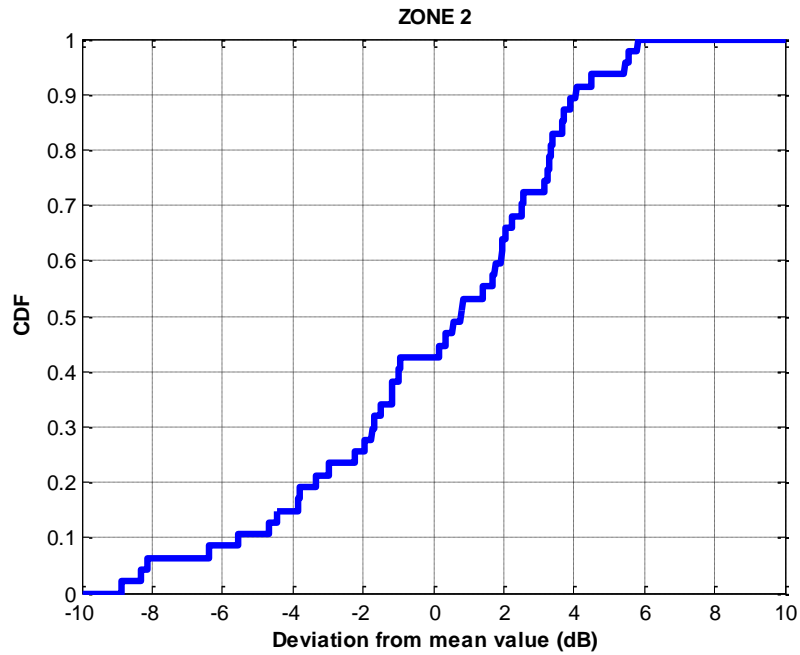


Figura 5.141: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -8.8 a 5.8 dB en la zona 2.

Las Figura 5.142 y Figura **5.143**, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias durante todo el enlace tanto para la polarización vertical como para la polarización horizontal.

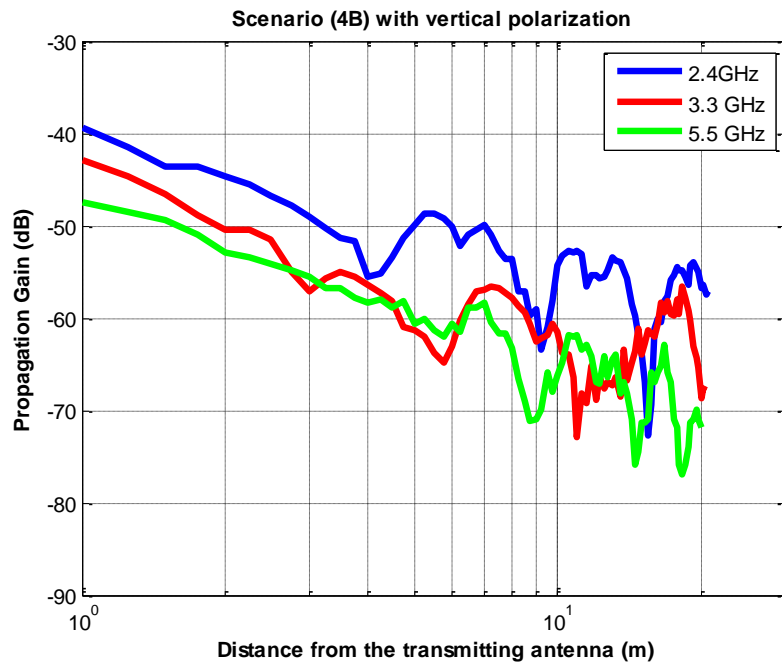


Figura 5.142: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 4B)

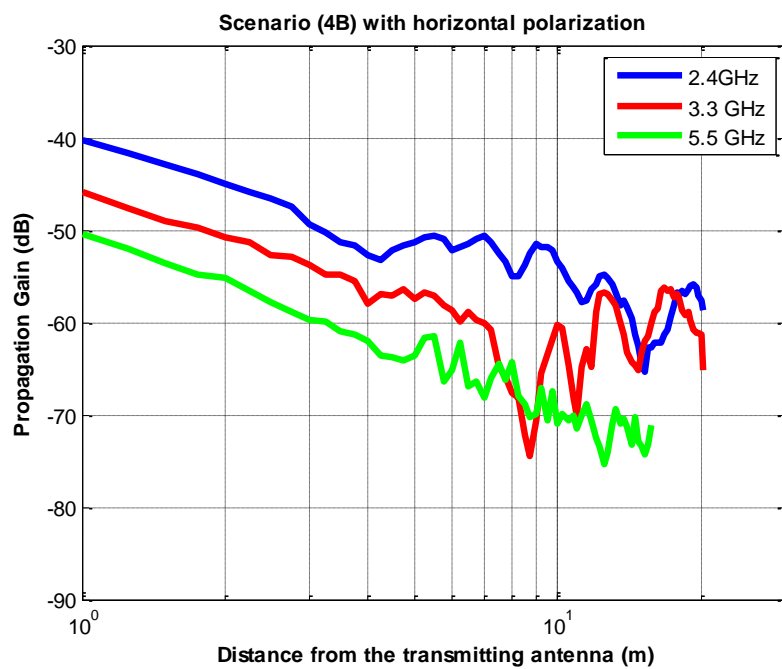


Figura 5.143: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 4B)

5.2.3 Escenario 5A. Pasillo del cuarto piso Edificio B junto a los despachos B409 – B415.

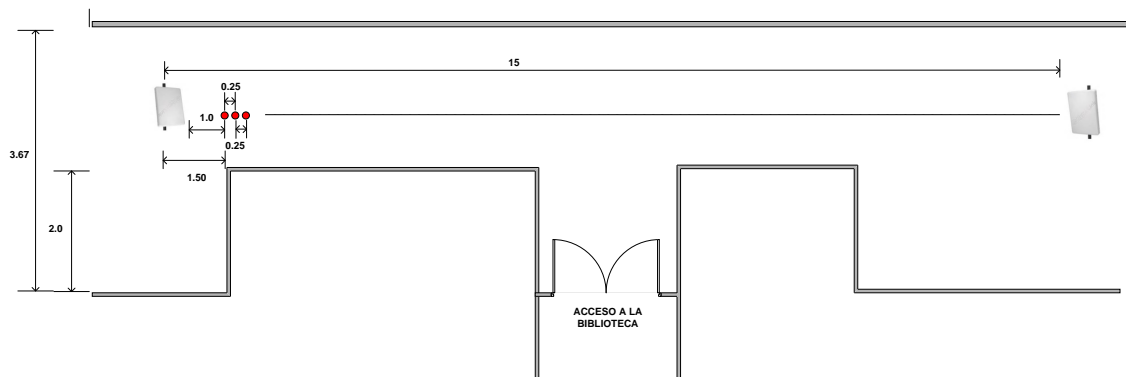


Figura 5.144: Plano junto al pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

5.2.3.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 23 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 23 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.145: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.146, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

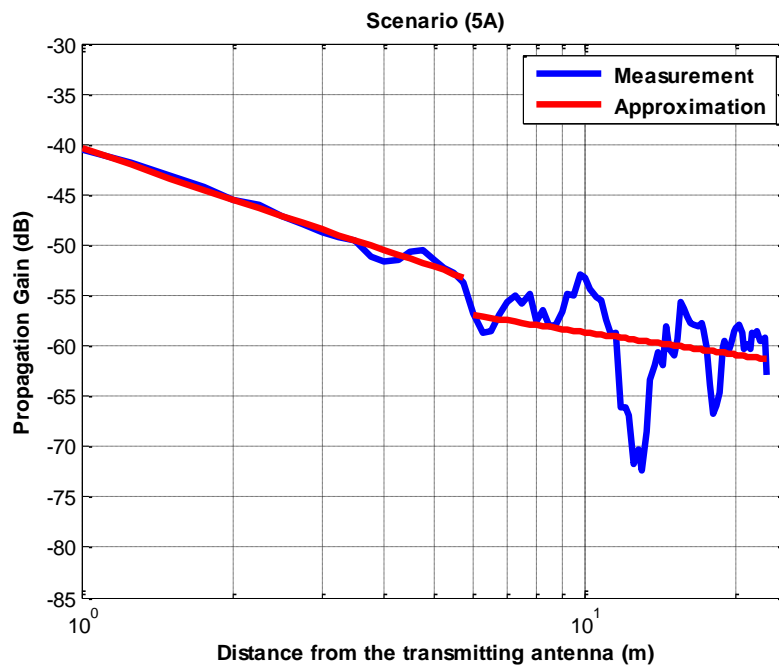


Figura 5.146: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.6809$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.7420$.

Como se puede ver, hasta 6 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 6 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.37: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-40.4	1.6809	6
-57	0.7420	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 40.4 + 16.81 * \log_{10} d & d \leq 6 \text{ m} \\ 57.0 + 7.42 * \log_{10} (d/6) & d > 6 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.147, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

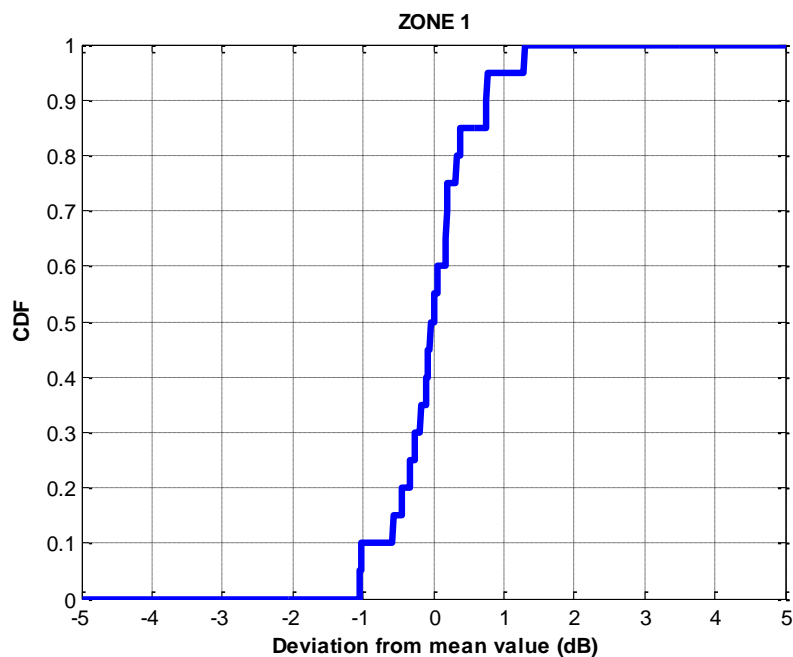


Figura 5.147: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1 a 1.25 dB en la zona 1.

La Figura 5.148, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

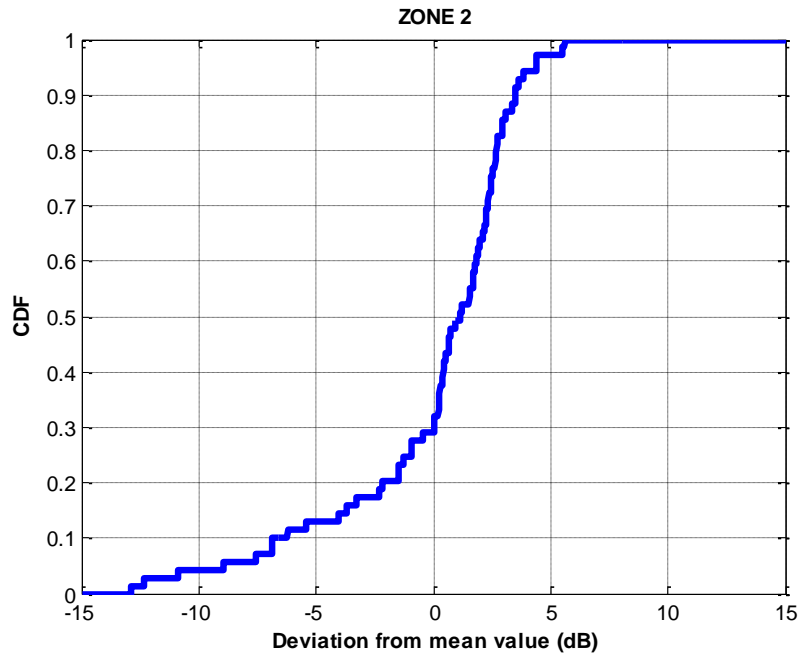


Figura 5.148: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -13 a 5.2 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.149, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

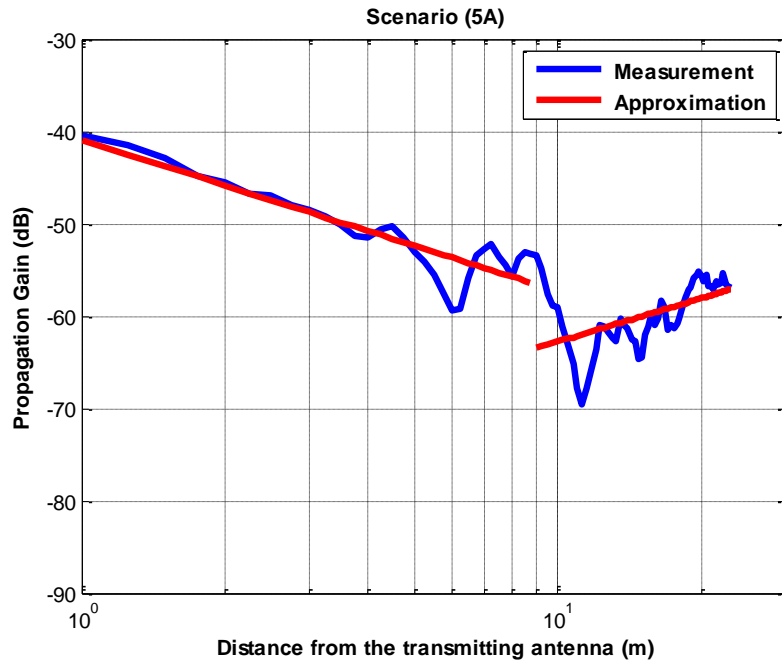


Figura 5.149: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.6399$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -1.5657$.

Tabla 5.38: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-40.916	1.6399	9
-63.5	-1.5657	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 40.92 + 16.4 * \log_{10} d & d \leq 9 \text{ m} \\ 63.5 - 15.66 * \log_{10} (d/9) & d > 9 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.150, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

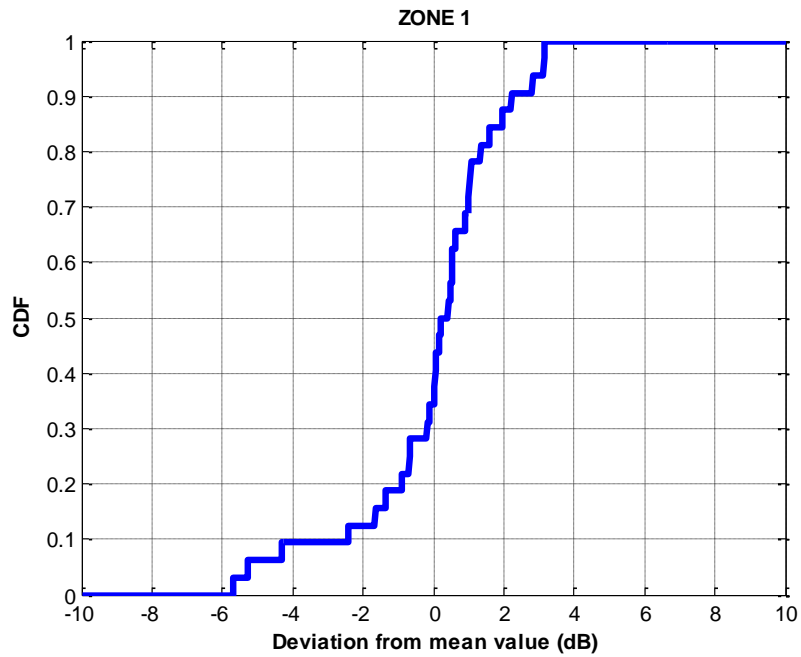


Figura 5.150: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -5.8 a 3 dB en la zona 1.

La Figura 5.151, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

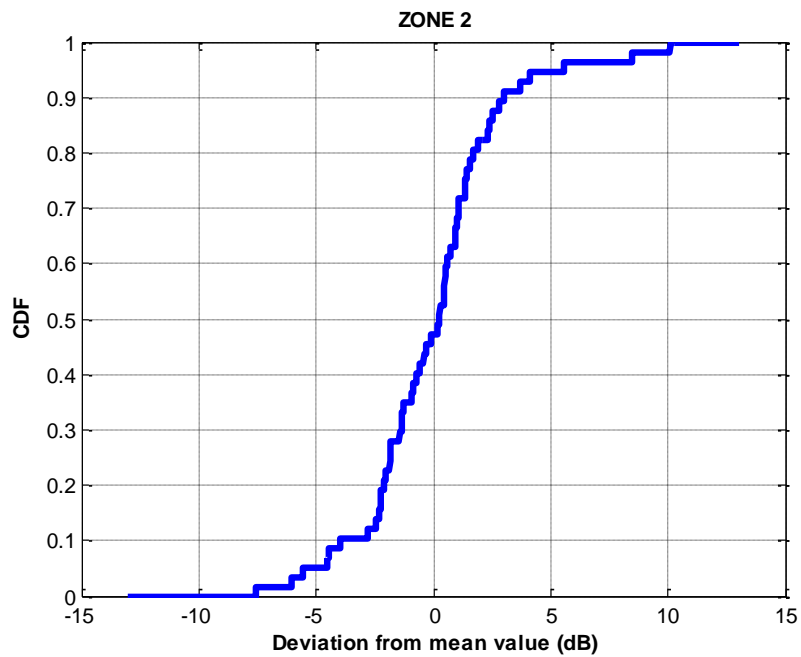


Figura 5.151: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7.8 a 10 dB en la zona 2.

5.2.3.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 20.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 20.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.152: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.153, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

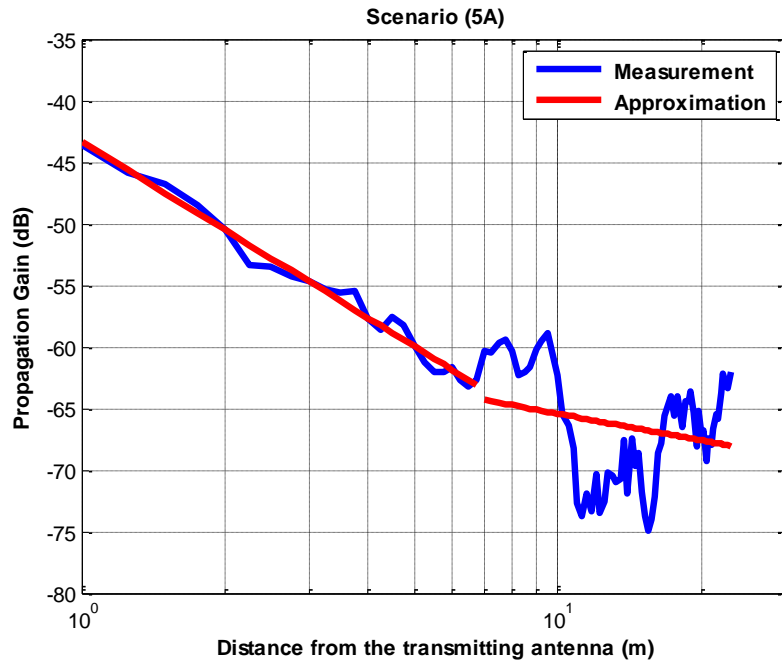


Figura 5.153: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.3771$ es mayor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.7201$.

Como se puede ver, hasta 7 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 7 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.39: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-43.34	2.3771	7
-64.31	0.7201	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 43.34 + 23.77 * \log_{10} d & d \leq 7 \text{ m} \\ 64.31 + 7.2 * \log_{10} (d/7) & d > 7 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.154, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

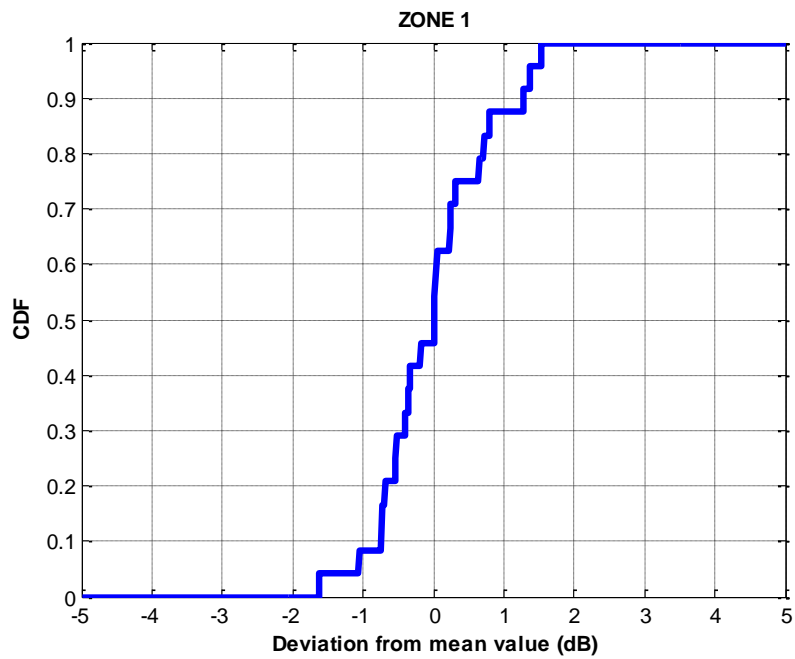


Figura 5.154: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.5 a 1.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.155, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

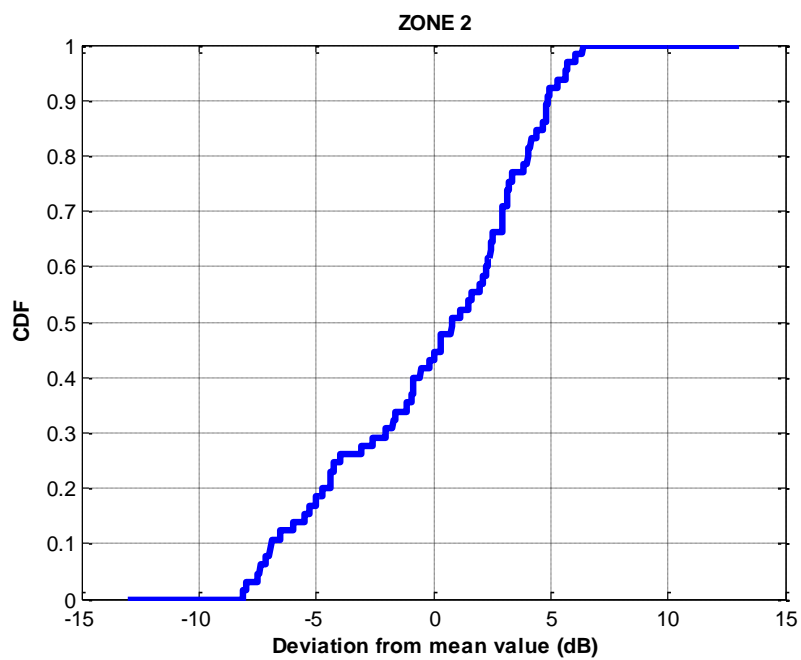


Figura 5.155: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -8 a 6 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.156, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

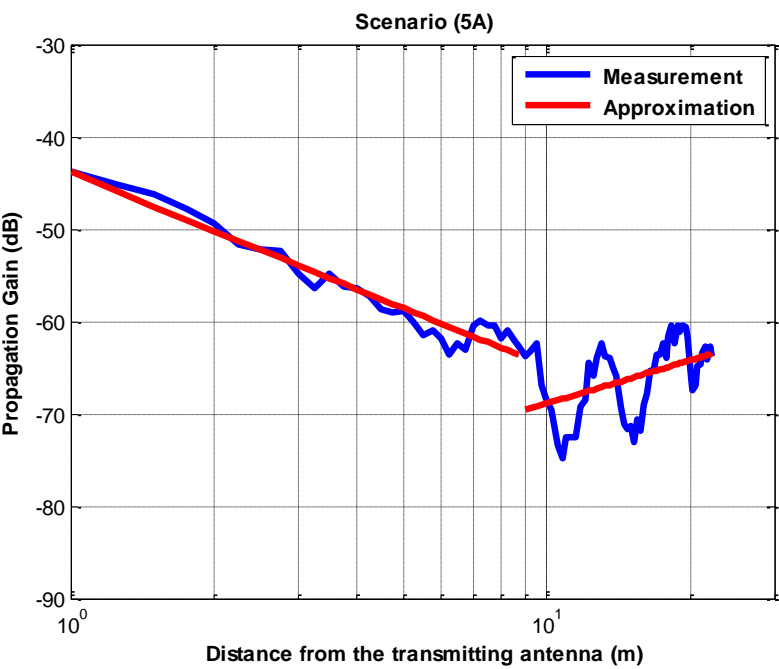


Figura 5.156: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.1043$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -1.5442$.

Tabla 5.40: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-43.846	2.1043	9
-69.61	-1.5442	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 43.85 + 21.04 * \log_{10} d & d \leq 9 m \\ 69.61 - 15.44 * \log_{10} (d/9) & d > 9 m \end{cases}$$

La Figura 5.157, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

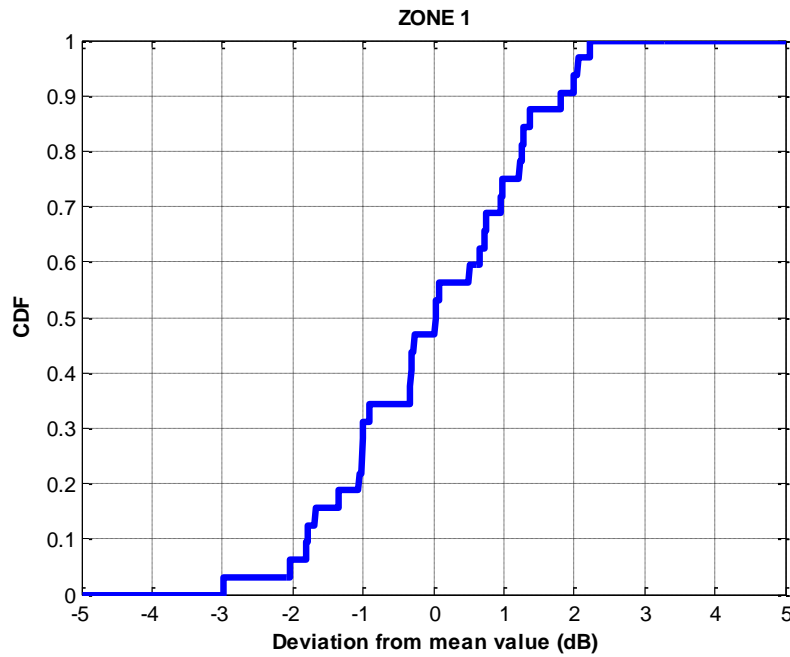


Figura 5.157: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.9 a 2.2 dB en la zona 1.

La Figura 5.158, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

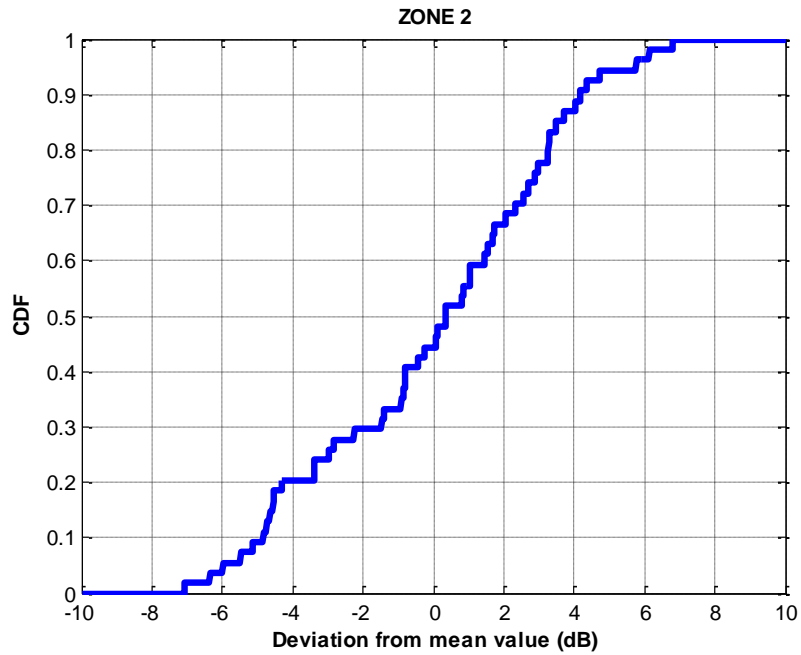


Figura 5.158: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7 a 6.5 dB en la zona 2.

5.2.3.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 18.25 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 18.25 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.159: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.160, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

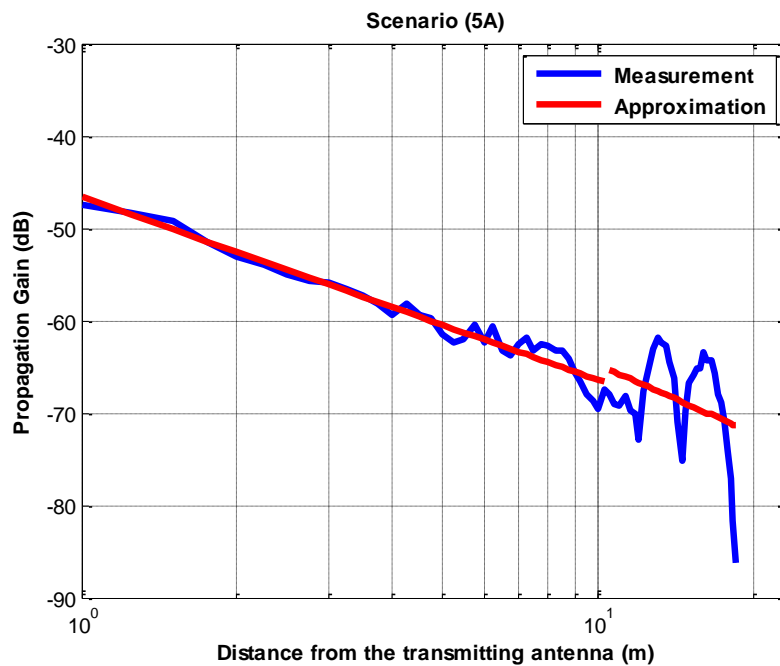


Figura 5.160: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9839$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.4758$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.41: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-46.60	1.9839	10.5
-65.31	2.4758	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 46.6 + 19.84 * \log_{10} d & d \leq 10.5 \text{ m} \\ 63.13 + 24.76 * \log_{10} (d/10.5) & d > 10.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.161, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

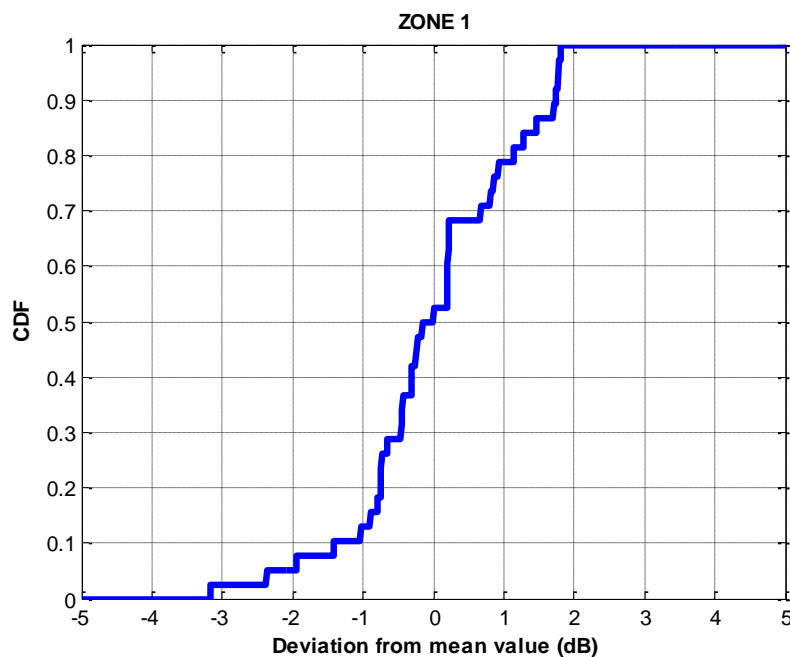


Figura 5.161: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3 a 1.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.162, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

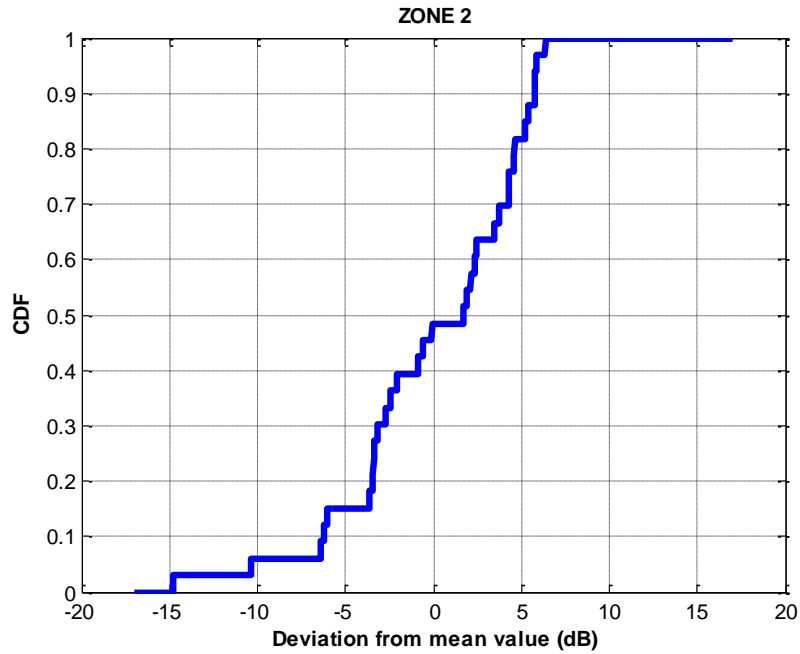


Figura 5.162: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -14.8 a 6.15 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.163, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

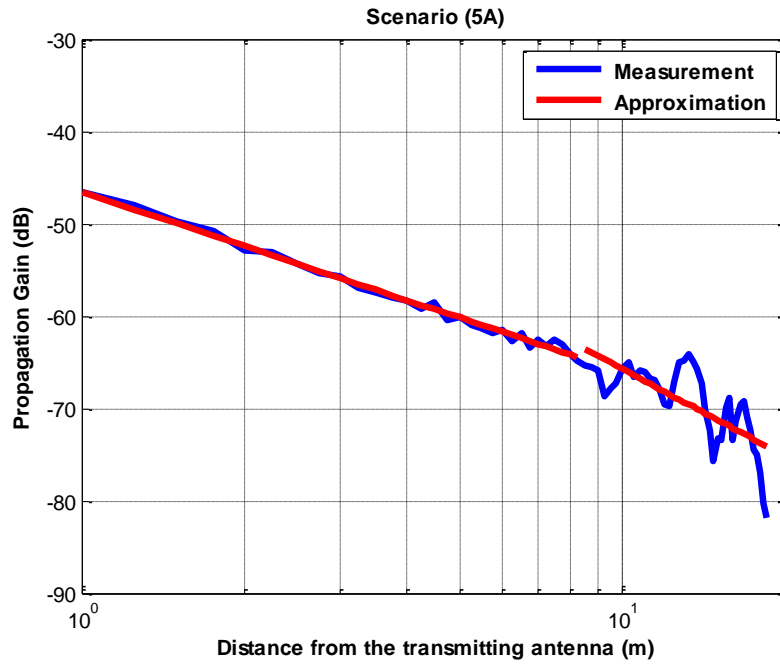


Figura 5.163: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9501$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=3.1206$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.42: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-46.542	1.9501	8.5
-63.55	3.1206	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 46.54 + 19.50 * \log_{10} d & d \leq 8.5 \text{ m} \\ 63.55 + 31.21 * \log_{10} (d/8.5) & d > 8.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.164, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

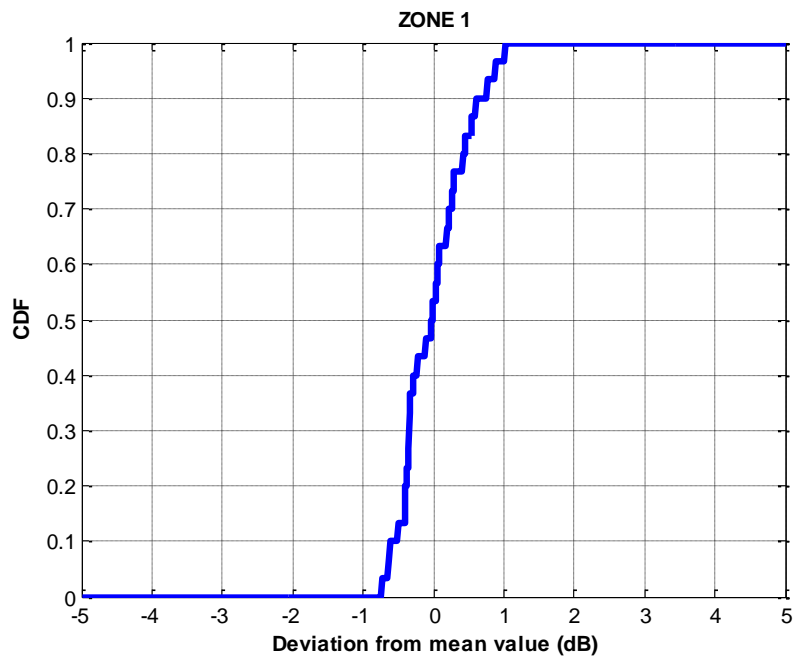


Figura 5.164 : CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -0.7 a 1 dB en la zona 1.

La Figura 5.165, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

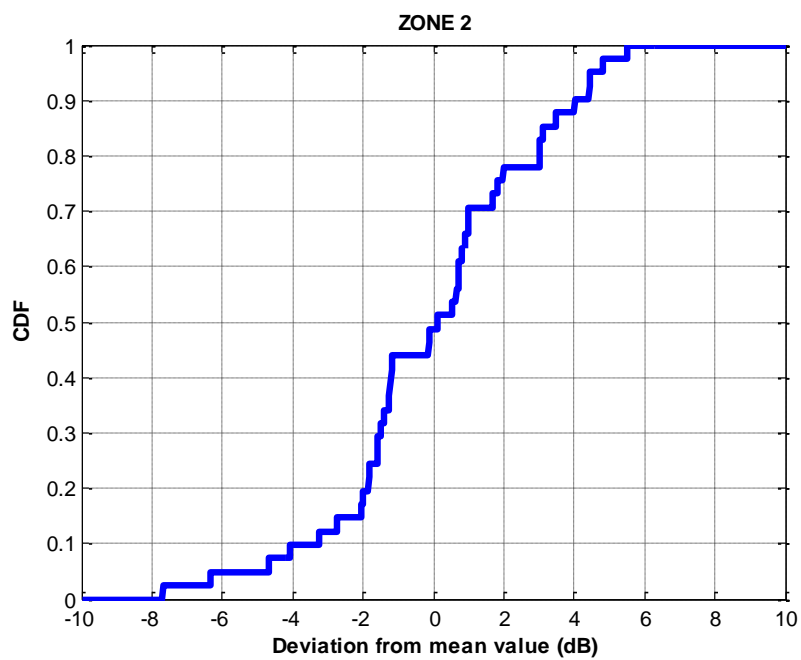


Figura 5.165: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7.8 a 5.7 dB en la zona 2.

Las Figura 5.166 y Figura 5.167, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias durante todo el enlace tanto para la polarización vertical como para la polarización horizontal con respecto a la distancia.

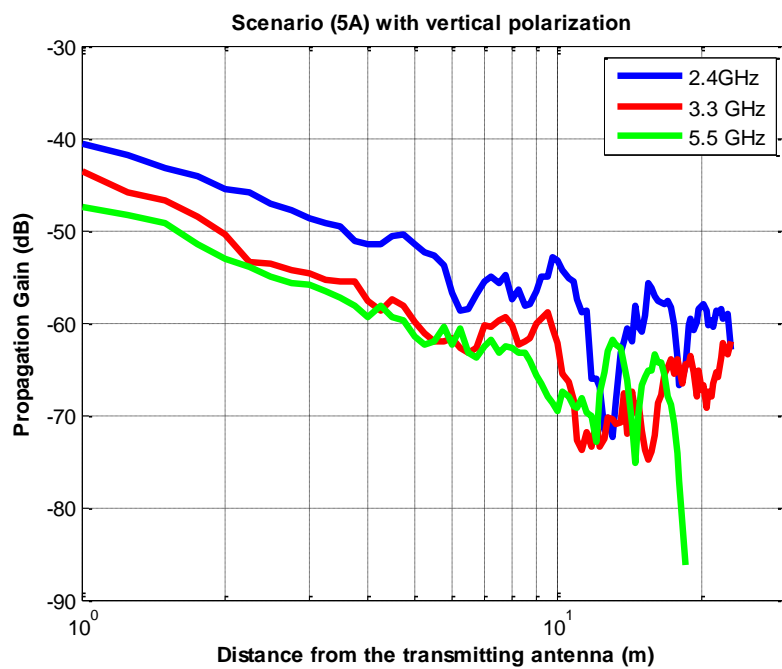


Figura 5.166: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 5 A)

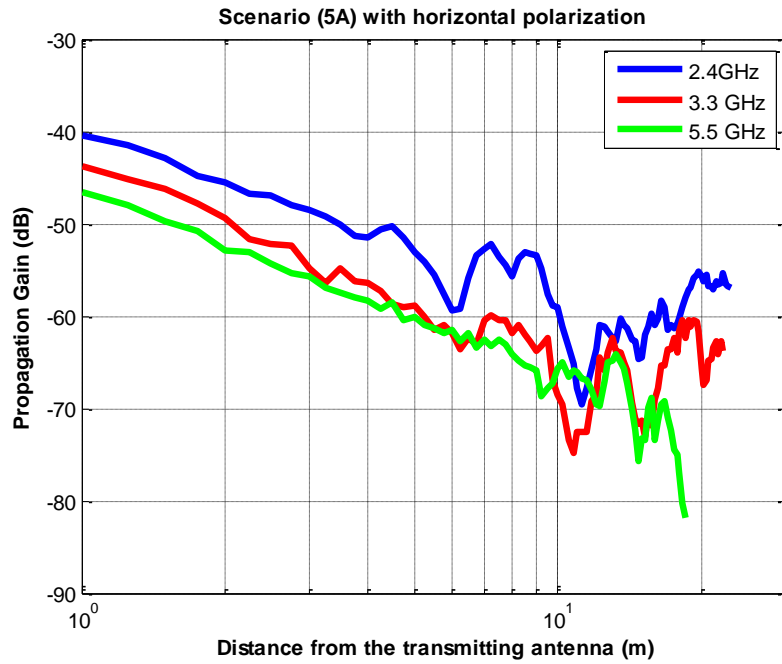


Figura 5.167: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 5 A)

5.2.4 Escenario 5B. Pasillo del cuarto piso Edificio B junto a los despachos B409 – B415.

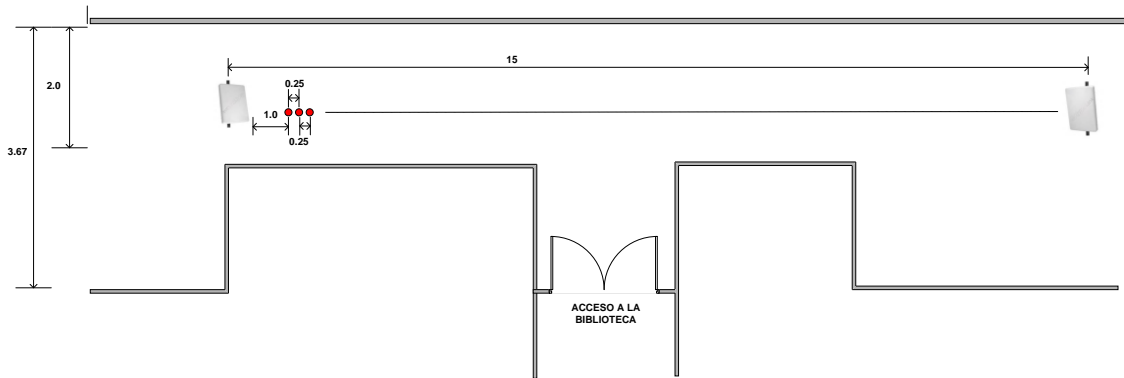


Figura 5.168: Plano del pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

5.2.4.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 21.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.

- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 21.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.169: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.170, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

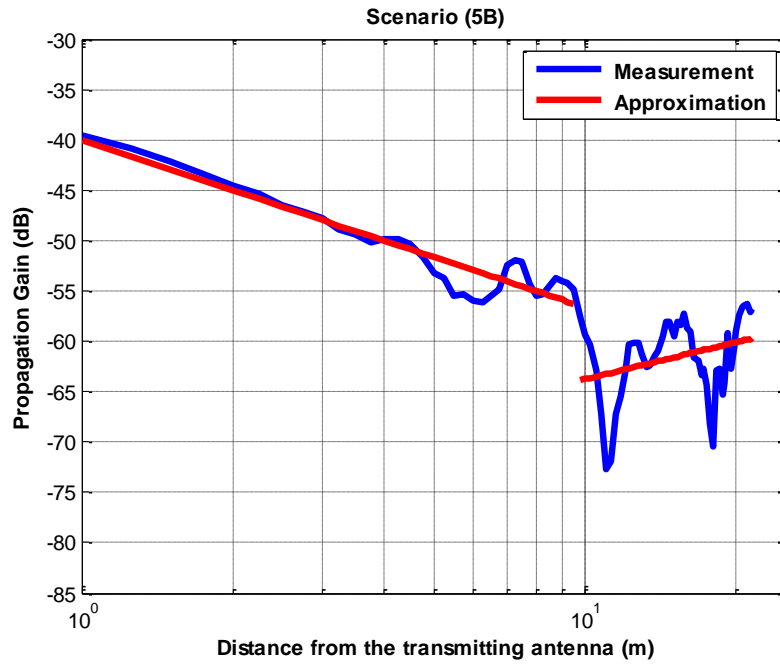


Figura 5.170: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.6608$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= -1.2229$.

Tabla 5.43: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-40.011	1.6608	9.75
-63.9	-1.2229	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 40.01 + 16.61 * \log_{10} d & d \leq 9.75 \text{ m} \\ 63.9 - 12.23 * \log_{10} (d/9.75) & d > 9.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.171, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

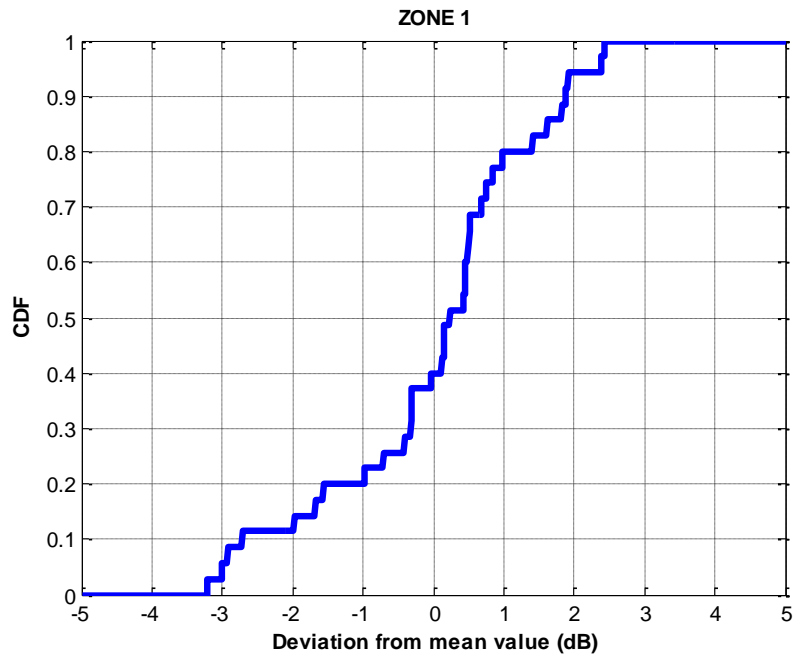


Figura 5.171: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3.2 a 2.3 dB en la zona 1.

La Figura 5.172, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

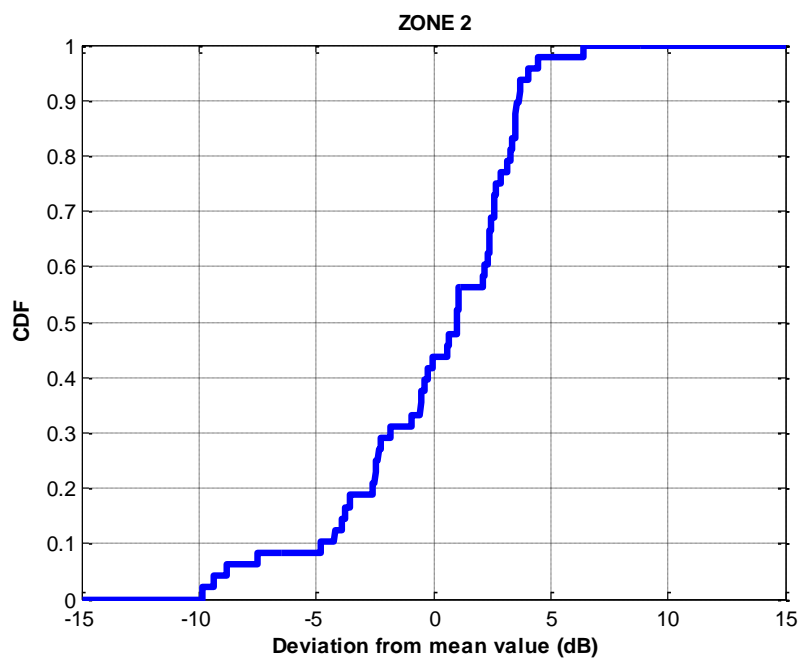


Figura 5.172: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -9.8 a 6.2 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.173, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

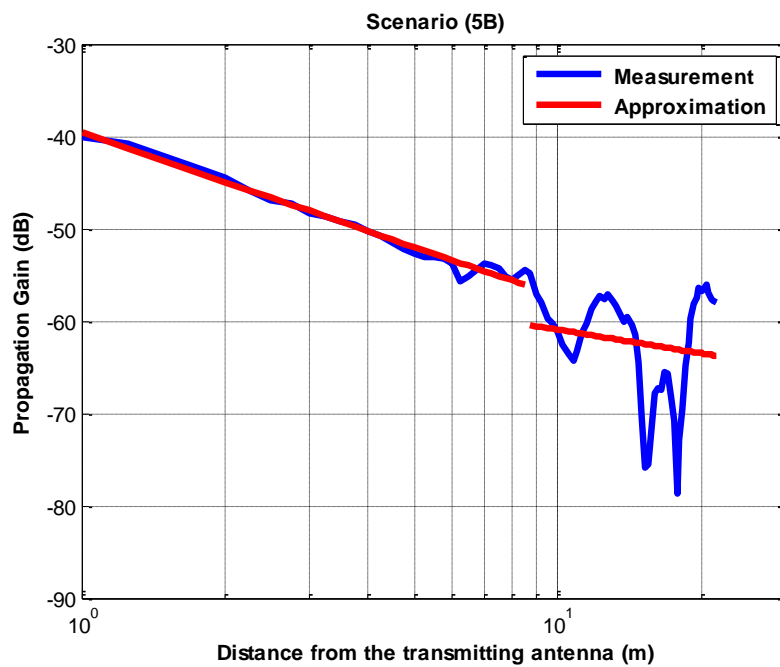


Figura 5.173: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.7707$ es menor al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=0.8452$.

Como se puede ver, hasta 8.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 8.75 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.44: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-39.608	1.7707	8.75
-60.47	0.8452	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 39.61 + 17.71 * \log_{10} d & d \leq 8.75 \text{ m} \\ 60.47 + 8.45 * \log_{10} (d/8.75) & d > 8.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.174, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

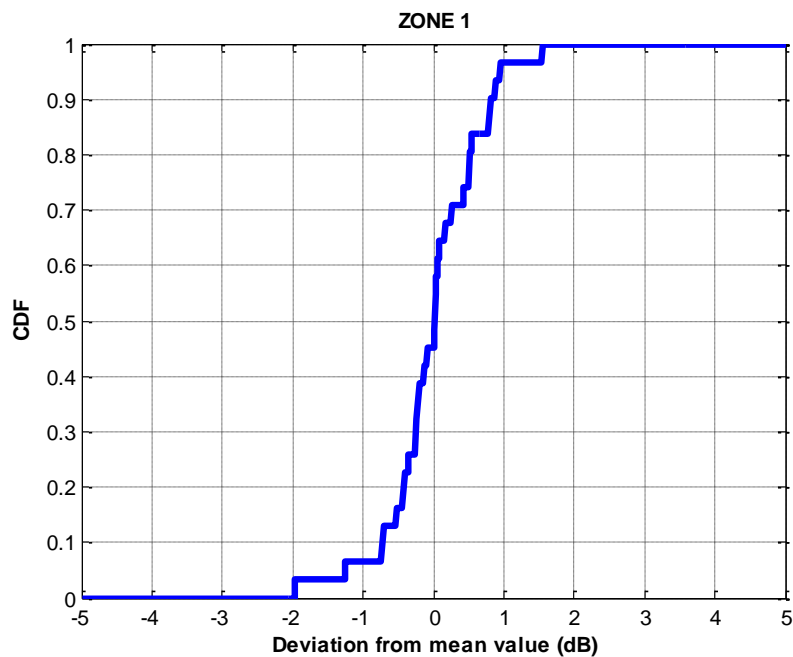


Figura 5.174: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.9 a 1.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.175, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

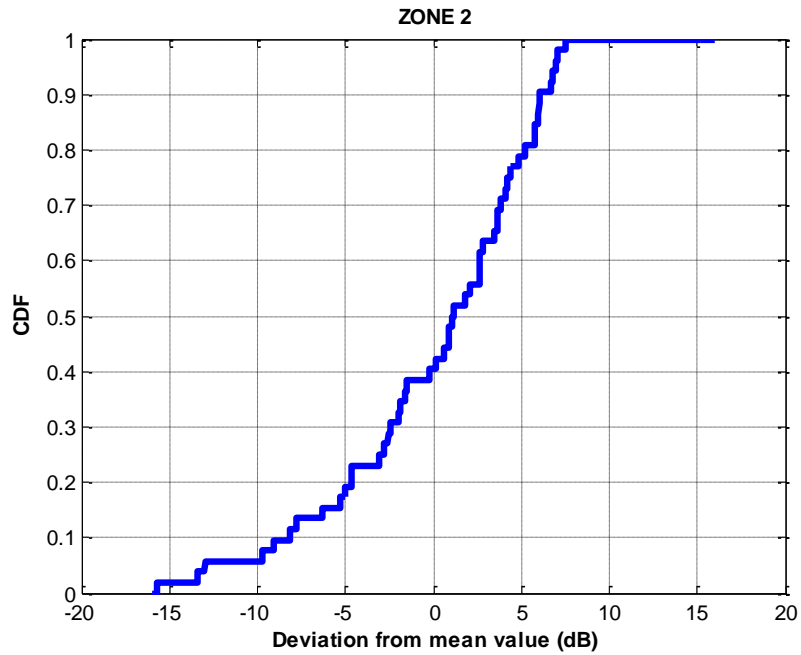


Figura 5.175: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -15 a 7.5 dB en la zona 2.

5.2.4.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 21.50 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 21.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.176: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.177, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

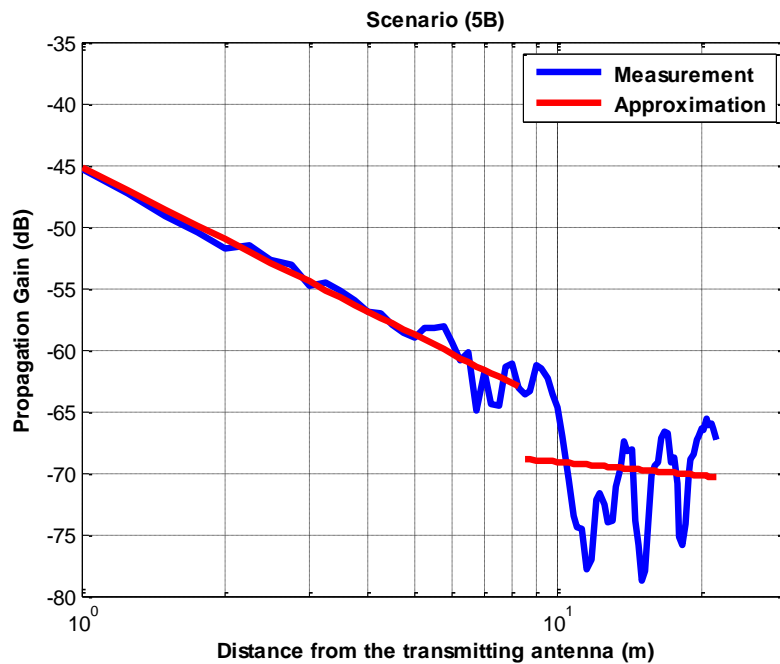


Figura 5.177: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9453$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2= 0.3623$.

Como se puede ver, hasta 8.5 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 8.5 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.45: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-45.1857	1.9453	8.5
-68.86	0.3623	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 45.18 + 19.45 * \log_{10} d & d \leq 8.5m \\ 68.86 + 3.62 * \log_{10} (d/8.5) & d > 8.5m \end{cases}$$

La Figura 5.178, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

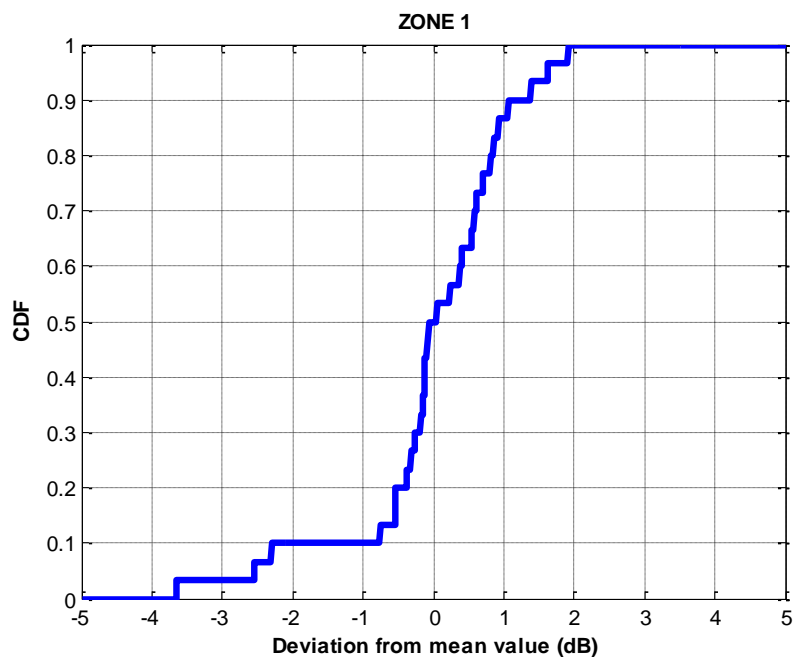


Figura 5.178: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3.6 a 1.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.179, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

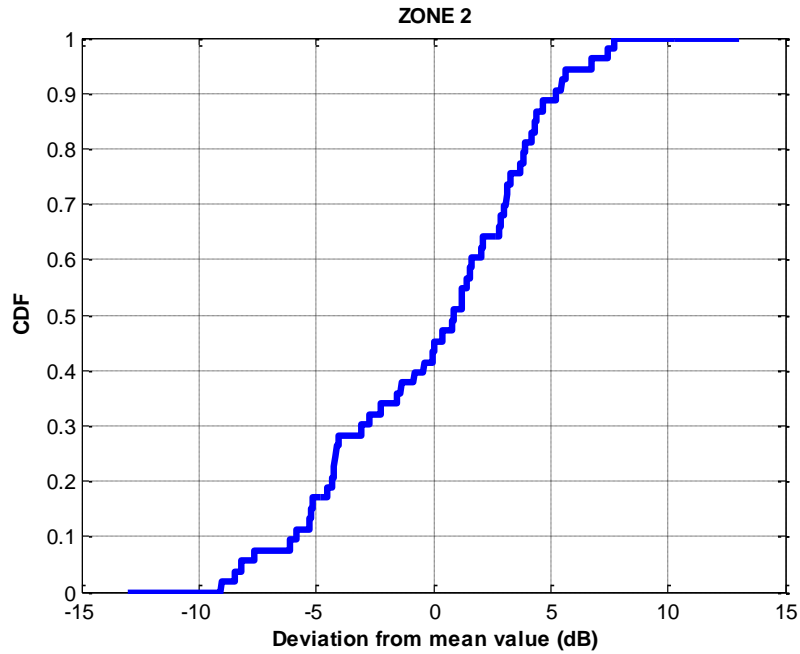


Figura 5.179: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -9 a 7.8 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.180, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

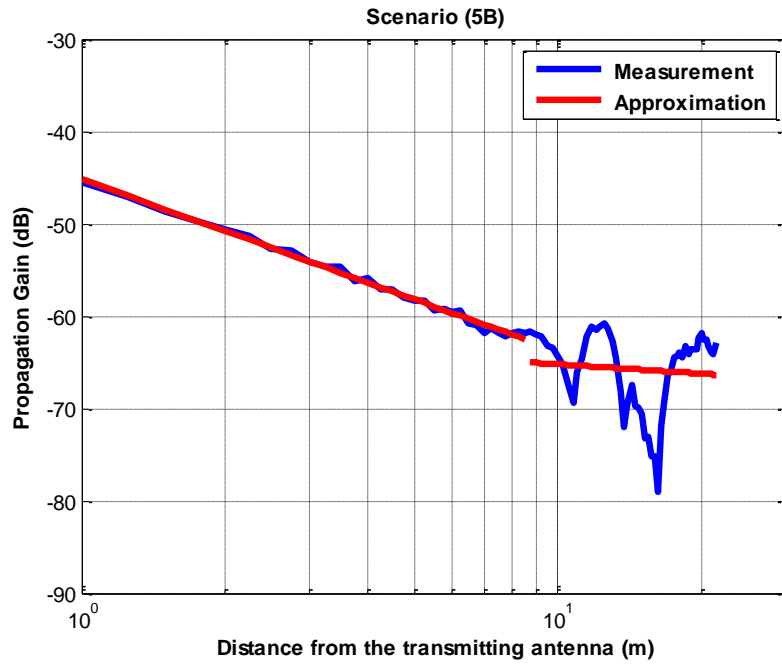


Figura 5.180: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.8636$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= 0.3355$.

Como se puede ver, hasta 8.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 8.75 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.46: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-45.1661	1.8636	8.75
-65.02	0.3355	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 45.17 + 18.64 * \log_{10} d & d \leq 8.75 \text{ m} \\ 65.02 + 3.35 * \log_{10} (d/8.75) & d > 8.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.181, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

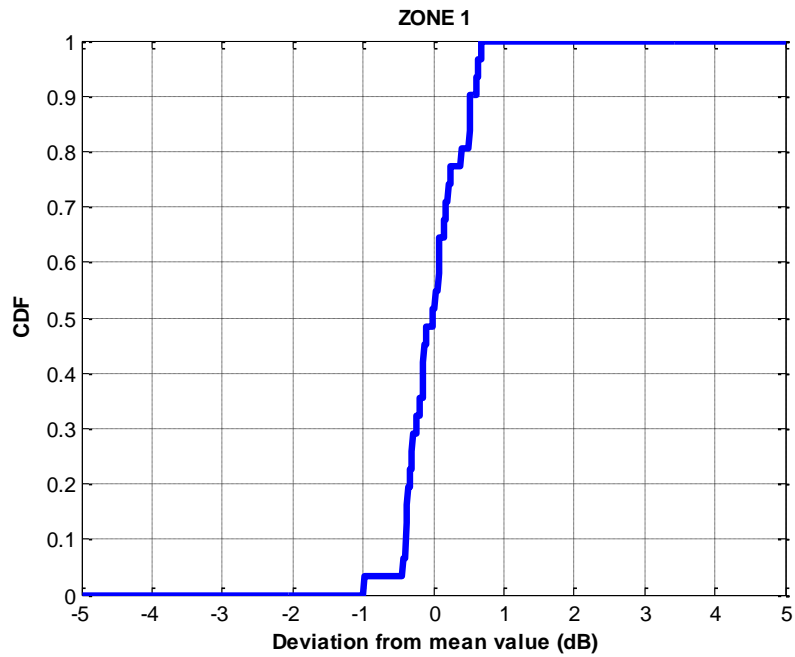


Figura 5.181: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -0.4 a 0.62 dB en la zona 1.

La Figura 5.182, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

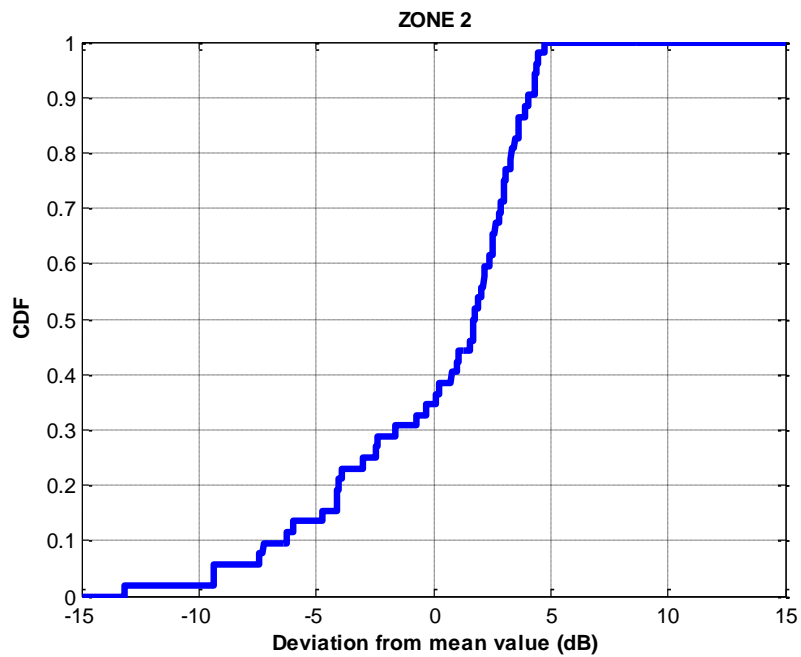


Figura 5.182: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -13 a 4.3 dB en la zona 2.

5.2.4.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 21.5 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 21.5 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.183: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B

Polarización Vertical.

La Figura 5.184, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

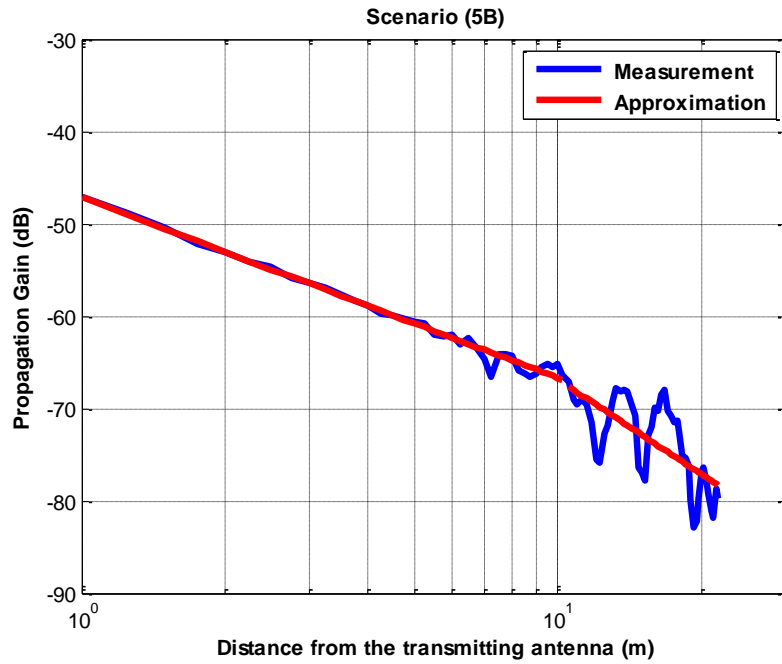


Figura 5.184: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.948$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= 3.4053$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.47: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-47.188	1.948	10.5
-67.6	3.4053	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 47.19 + 19.48 * \log_{10} d & d \leq 10.5 \text{ m} \\ 67.6 + 34.05 * \log_{10} (d/10.5) & d > 10.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.185, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

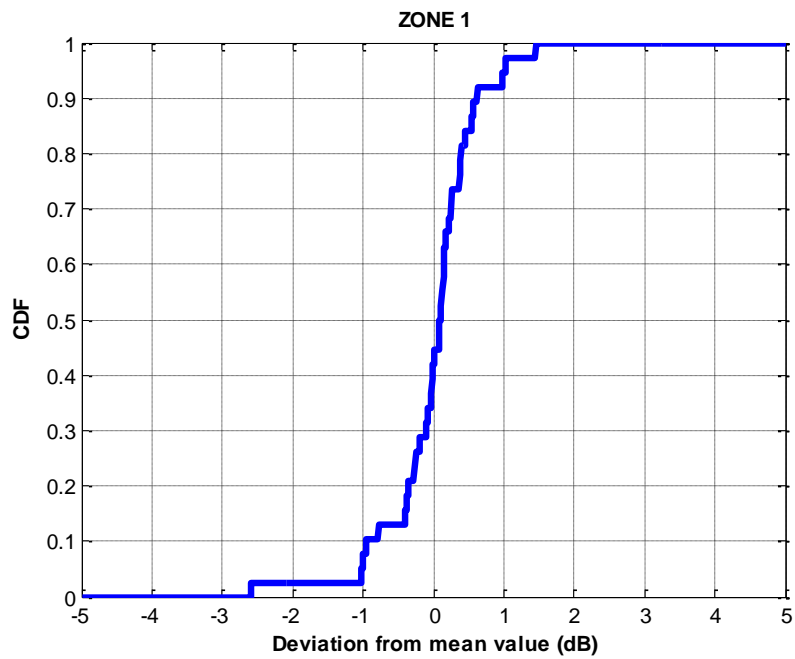


Figura 5.185: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -2.5 a 1.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.186, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

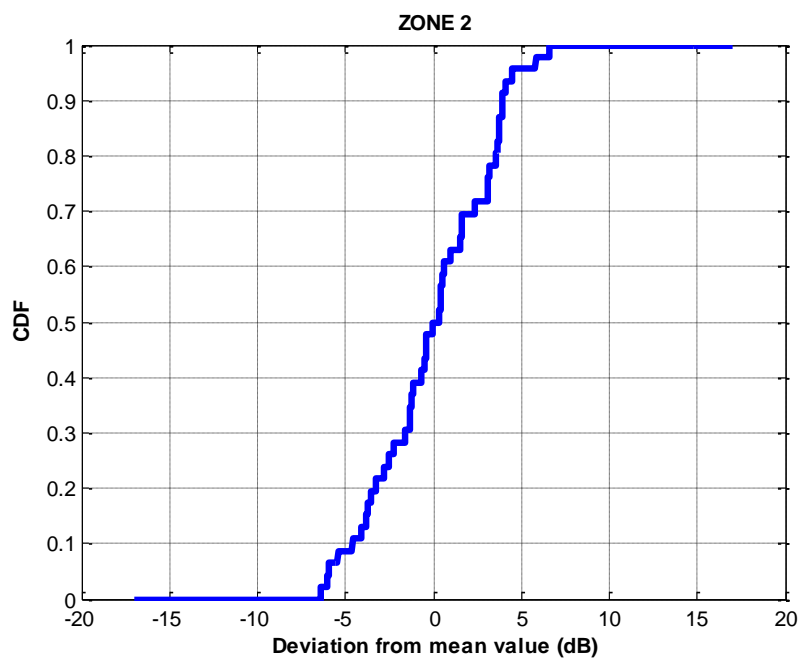


Figura 5.186: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -6 a 6 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.187, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

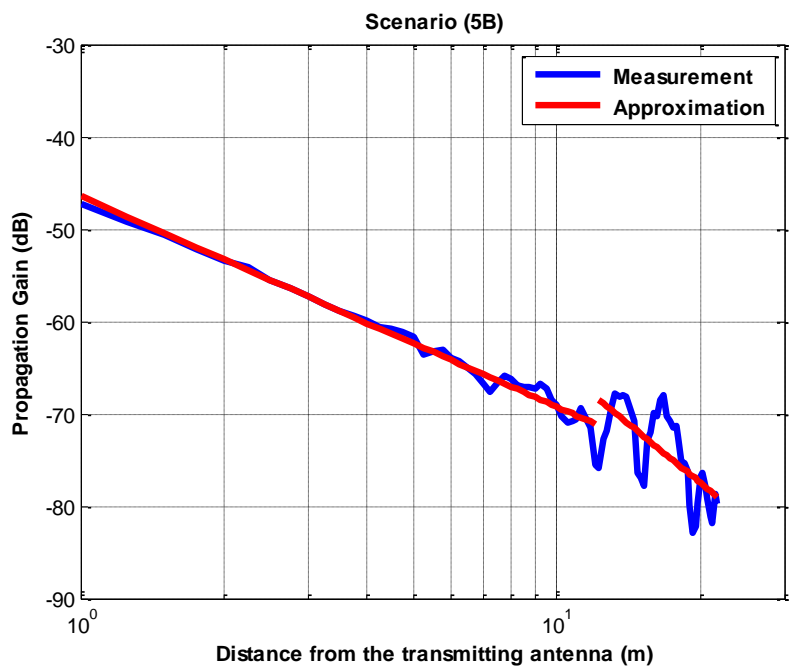


Figura 5.187: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.2799$ es mayor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=4.2395$.

Tabla 5.48: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-46.45	2.2799	12.25
-68.45	4.2395	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 46.45 + 22.8 * \log_{10} d & d \leq 12.25 \text{ m} \\ 68.45 + 42.4 * \log_{10} (d/12.25) & d > 12.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.188, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

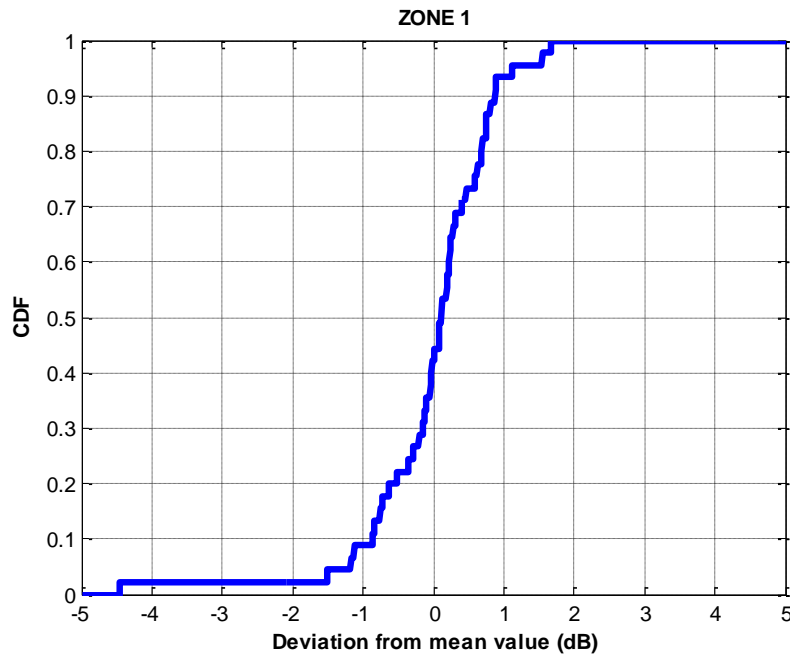


Figura 5.188: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -4.3 a 1.5 dB en la zona 1.

La Figura 5.189, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

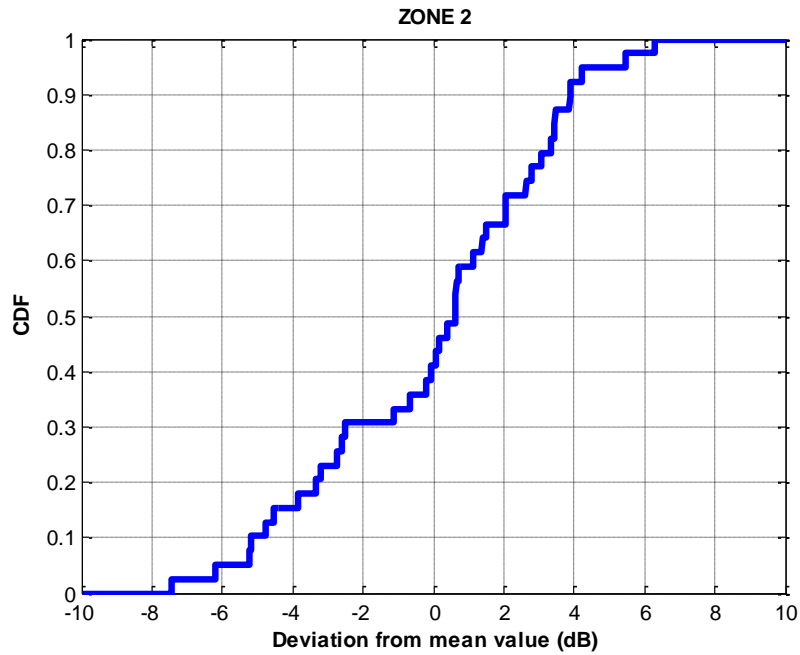


Figura 5.189 : CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -7.2 a 6 dB en la zona 2.

Las Figura 5.190 y Figura **5.191**, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias hasta durante todo el enlace tanto para la polarización vertical como para la polarización horizontal.

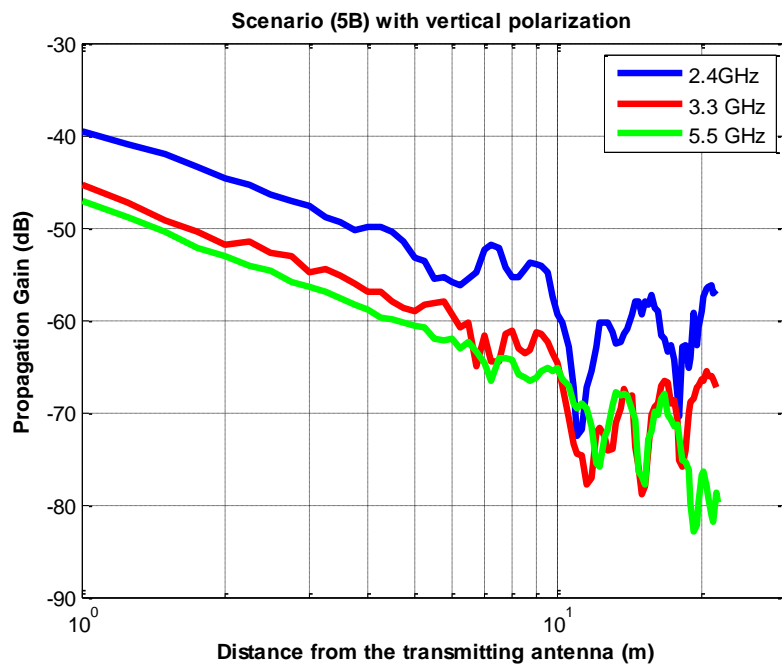


Figura 5.190: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 5B)

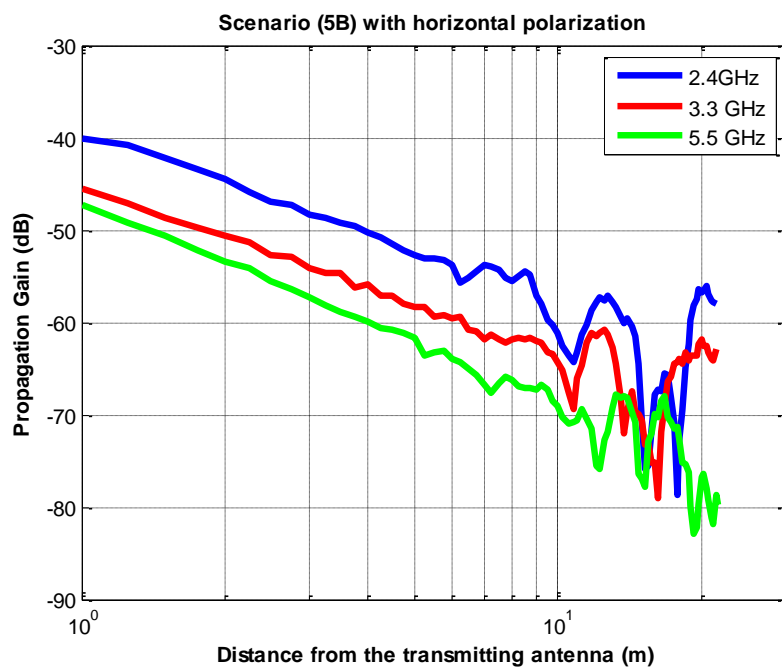


Figura 5.191: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 5B)

5.3 Edificio A

5.3.1 Escenario 6. Pasillo del primer piso Edificio A junto a las aulas A06 – A09.

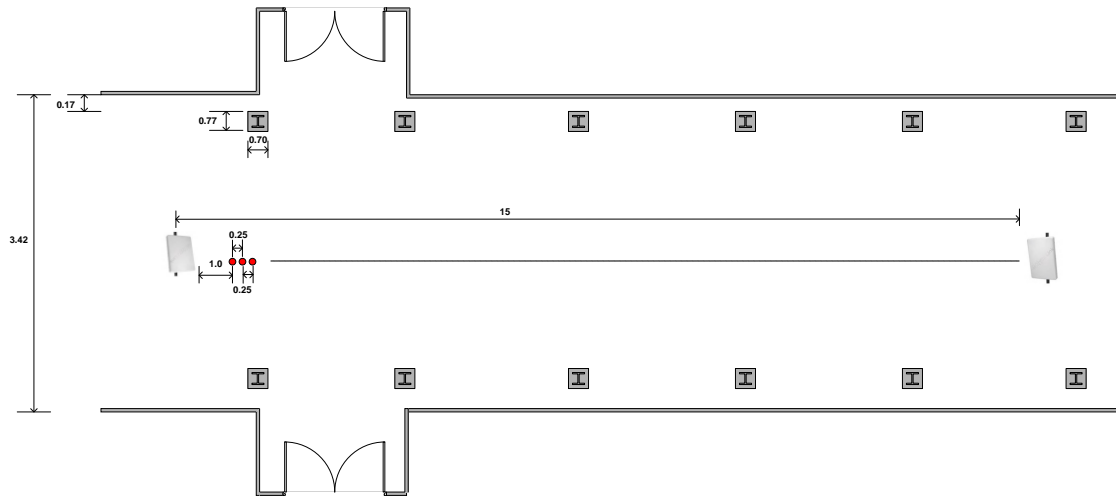


Figura 5.192: Plano del pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A

5.3.1.1 Para un tono de frecuencia de 2.4 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 24 metros.

- Antenas utilizadas: TW 2.4 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 2.4 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 24 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.193: Foto pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A

Polarización Vertical.

La Figura 5.194, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

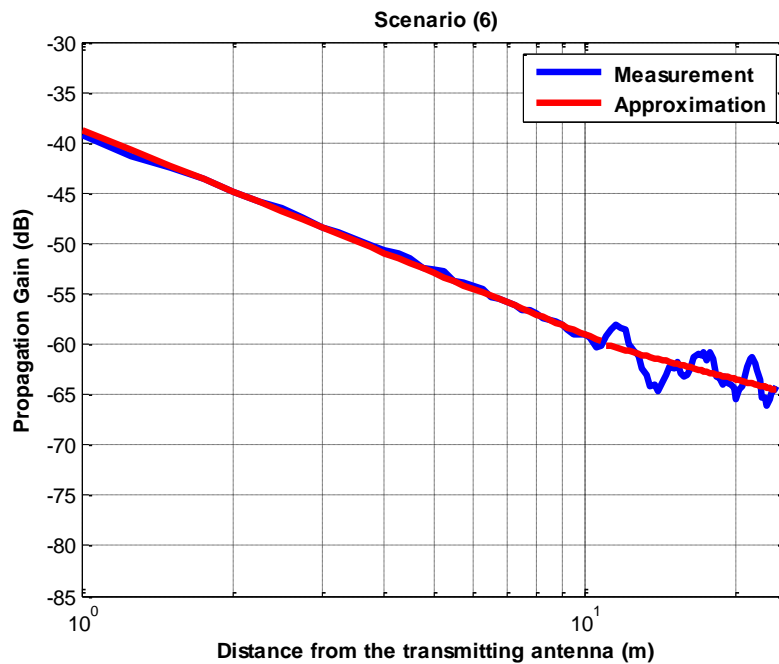


Figura 5.194: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=2.0331$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= 1.3104$.

Como se puede ver, hasta 11 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 11 m. se puede modelar como una combinación de espacio libre y guía de onda.

Tabla 5.49: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-38.6918	2.0331	11
-60.1	1.3104	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 38.69 + 20.33 * \log_{10} d & d \leq 11 \text{ m} \\ 60.1 + 13.1 * \log_{10} (d/11) & d > 11 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.195, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

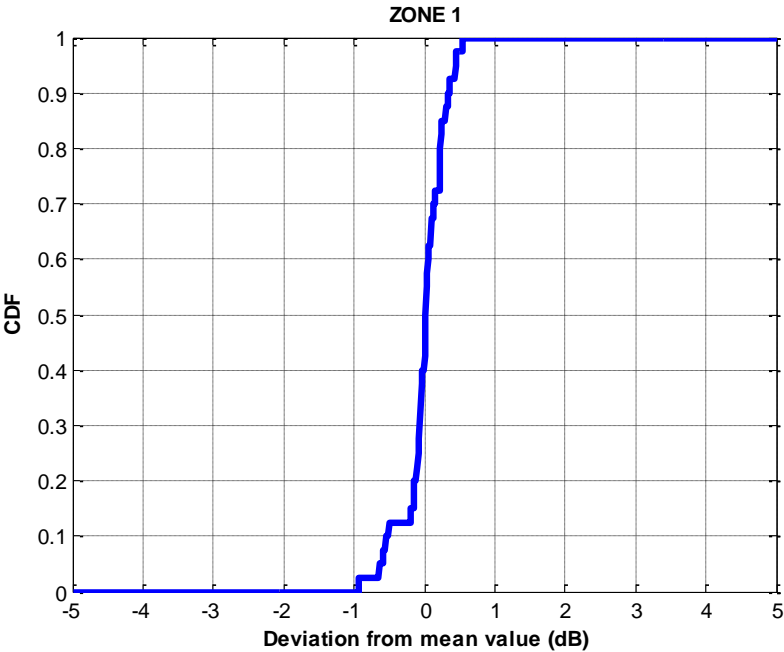


Figura 5.195: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -0.9 a 0.55 dB en la zona 1.

La Figura 5.196, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

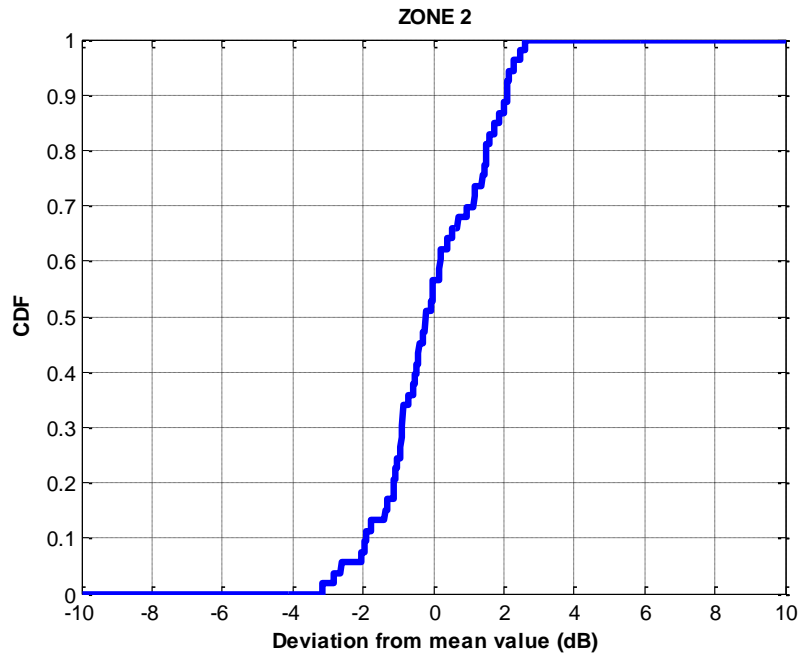


Figura 5.196: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -3.2 a 2.5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.197, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 2.4 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

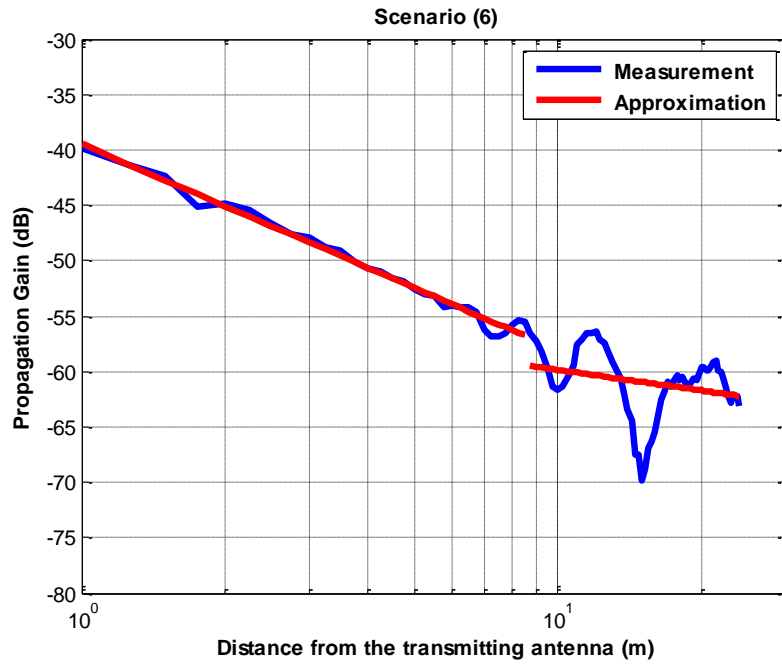


Figura 5.197: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.8581$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2= 0.6162$.

Como se puede ver, hasta 8.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 8.75 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.50: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-39.4731	1.8581	8.75
-59.5	0.6162	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 39.47 + 18.58 * \log_{10} d & d \leq 8.75 \text{ m} \\ 59.5 + 6.16 * \log_{10} (d/8.75) & d > 8.75 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.198, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

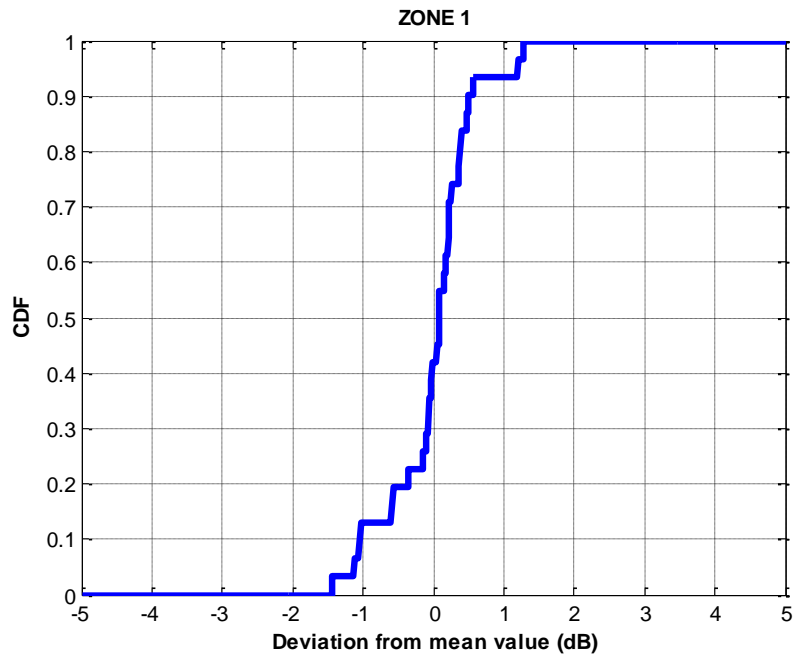


Figura 5.198: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.4 a 1.25 dB en la zona 1.

La Figura 5.199, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

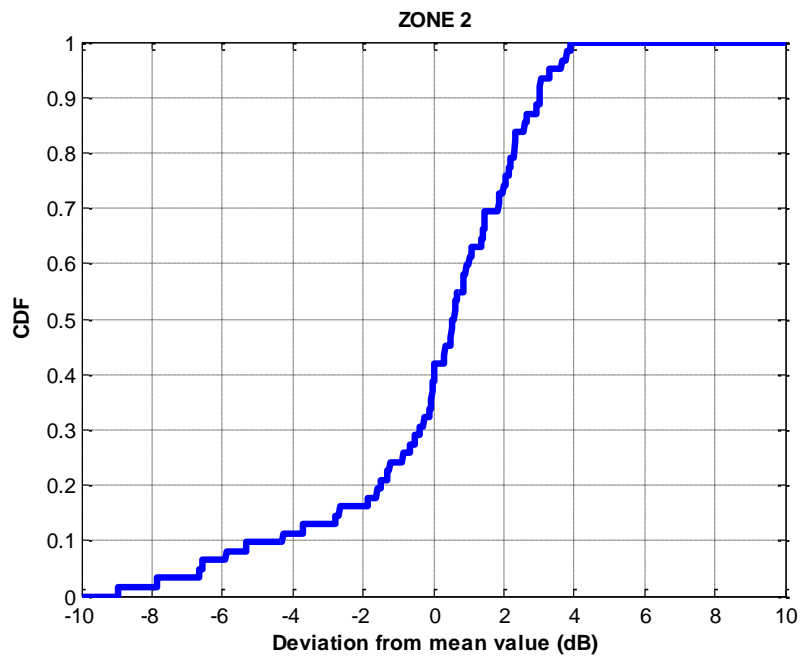


Figura 5.199: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -9 a 3.8 dB en la zona 2.

5.3.1.2 Para un tono de frecuencia de 3.3 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 24 metros.

- Antenas utilizadas: TW 3.3 GHz de 13 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 3.3 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 24 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.200: Foto pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A

Polarización Vertical.

La Figura 5.201, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

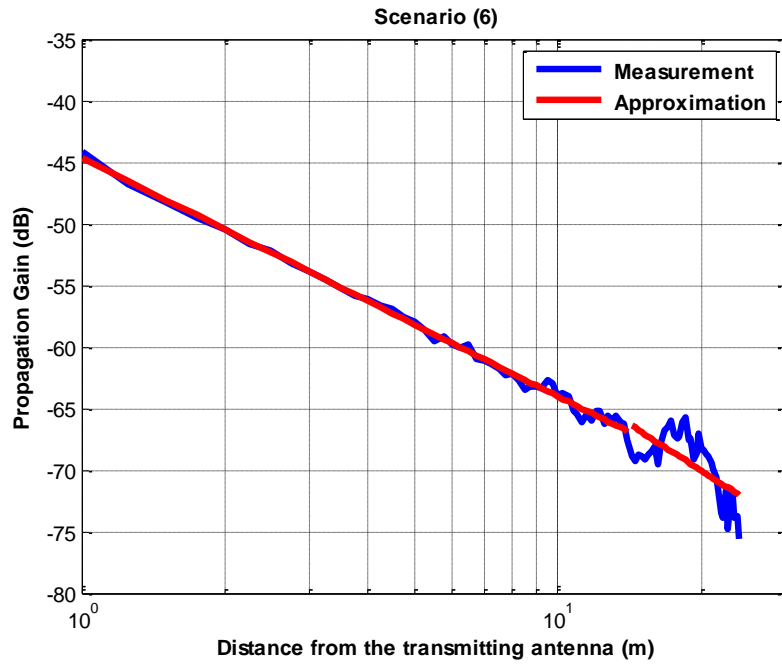


Figura 5.201: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9395$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=2.4912$.

Como se puede ver, se puede modelar todo el recorrido como espacio libre, pero el exponente de propagación para la zona 2 es mayor que su valor en la zona 1.

Tabla 5.51: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-44.6282	1.9395	14.25
-66.38	2.4912	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 44.63 + 19.39 * \log_{10} d & d \leq 14.25 \text{ m} \\ 66.38 - 24.91 * \log_{10} (d/14.25) & d > 14.25 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.202, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

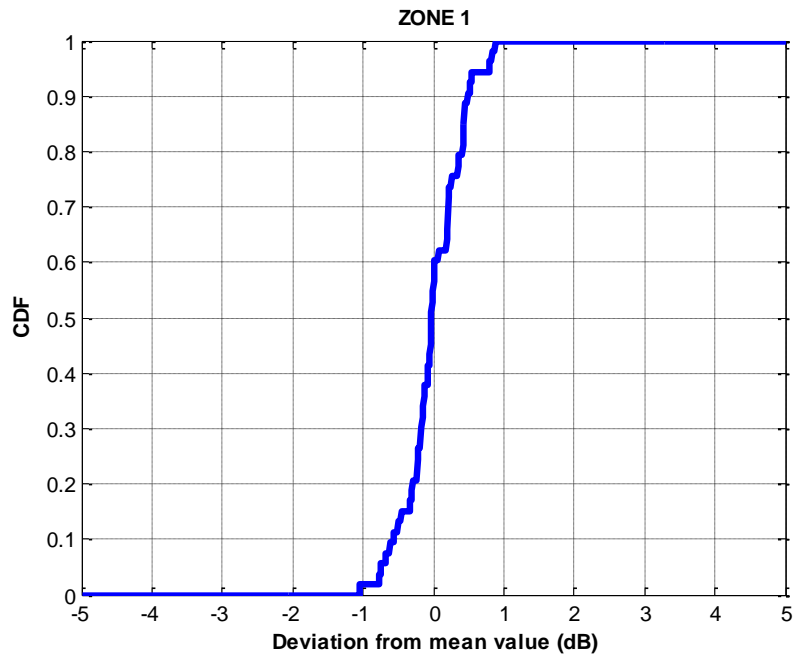


Figura 5.202: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1 a 0.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.203, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

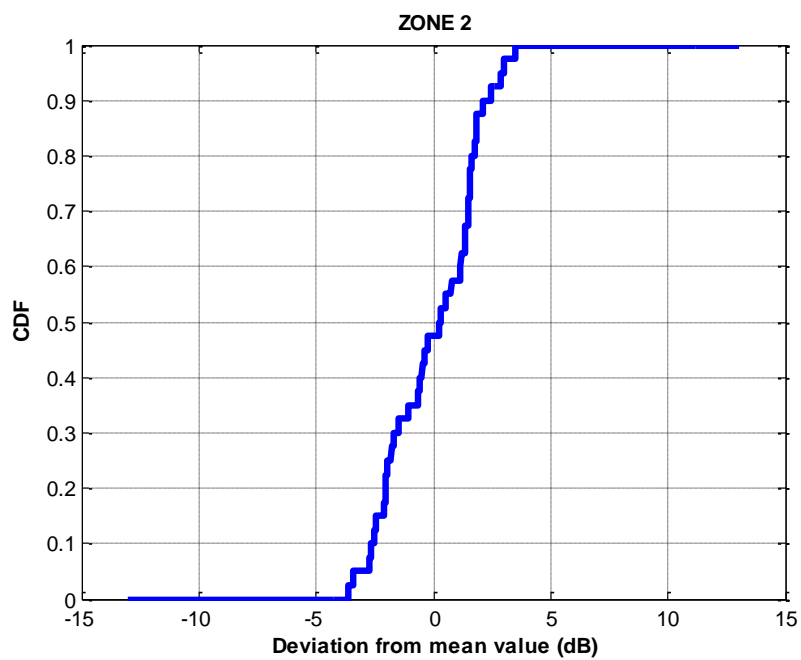


Figura 5.203: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -3.5 a 3.5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.204, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 3.3 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

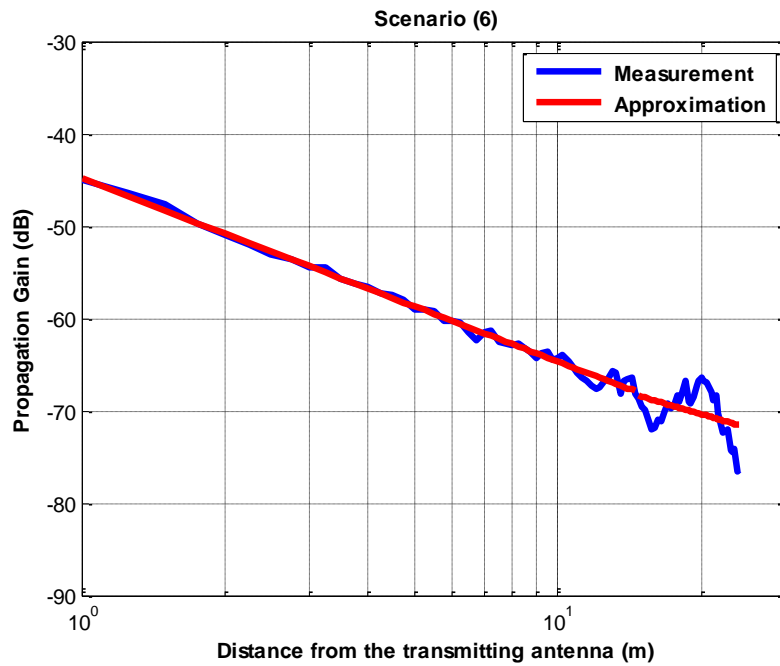


Figura 5.204: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.9818$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo de la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.5041$.

Como se puede ver, hasta 14.75 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 14.75 m. se puede modelar como una combinación de espacio libre y guía de onda.

Tabla 5.52: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-44.85	1.9818	14.75
-68.37	1.5041	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 44.85 + 19.82 * \log_{10} d & d \leq 14.75m \\ 68.37 + 15.04 * \log_{10} (d/14.75) & d > 14.75m \end{cases}$$

La Figura 5.205, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

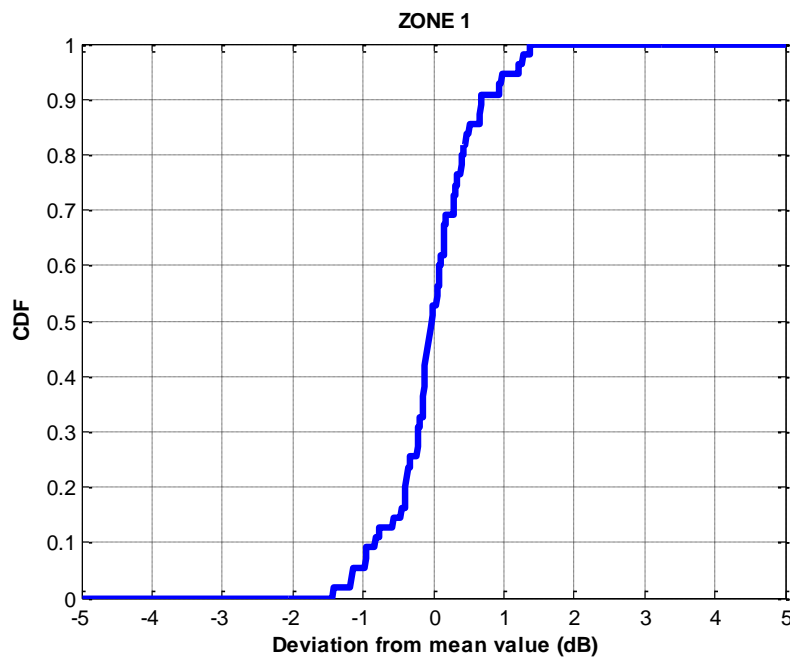


Figura 5.205: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.4 a 1.4 dB en la zona 1.

La Figura 5.206, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

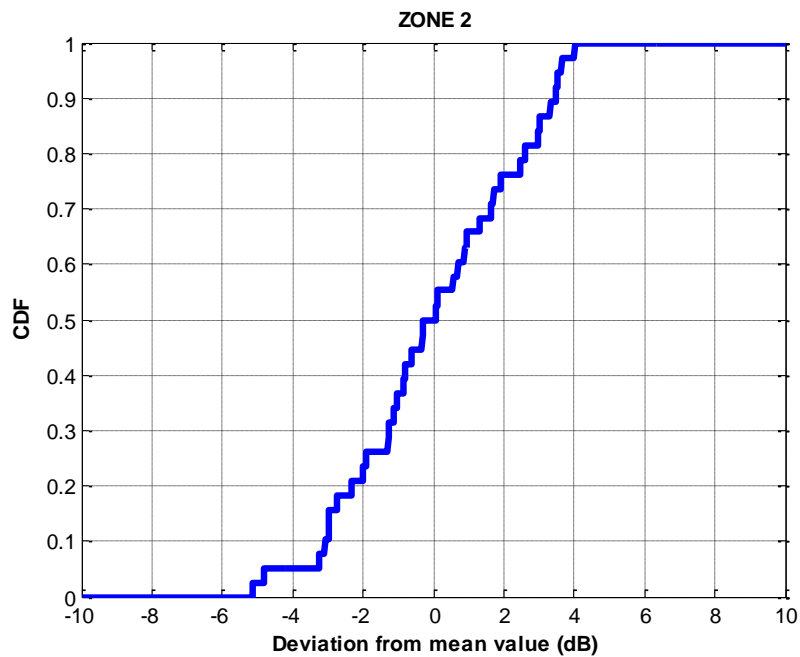


Figura 5.206: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -5 a 4 dB en la zona 2.

5.3.1.3 Para un tono de frecuencia de 5.5 GHz.

Objetivo: Determinar las pérdidas de propagación en el pasillo bajo condiciones normales a distancias desde 1 metro hasta 24 metros.

- Antenas utilizadas: TW 5.5 GHz de 15 dBi.
- Altura de las antenas: Se trabaja a una altura de 1.5 metros.
- Rango de frecuencias: Un tono único de 5.5 GHz.
- Distancia entre antenas: Desde 1 metro hasta 24 metros en pasos 0.25 metros.



Figura 5.207: Foto pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A

Polarización Vertical.

La Figura 5.208, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización vertical, en función de la distancia de separación entre las antenas.

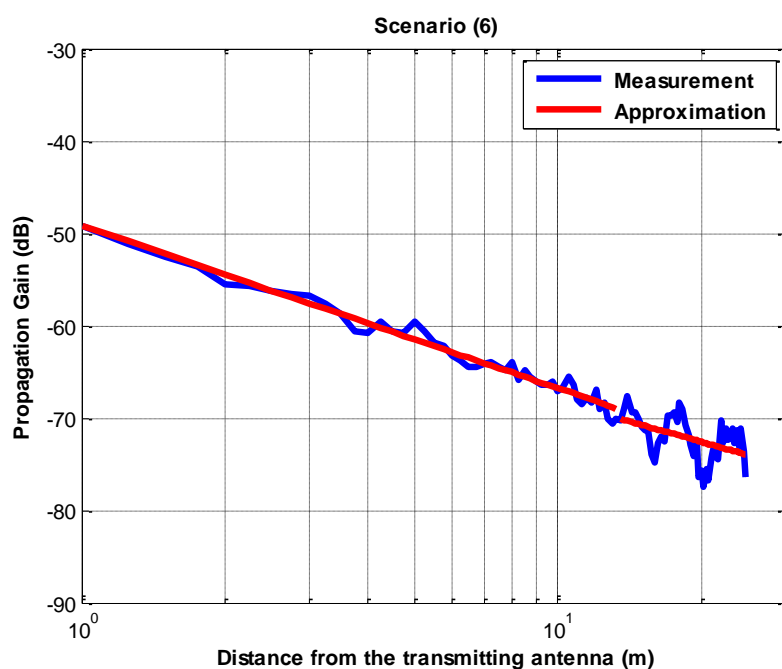


Figura 5.208: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.765$ es menor que el exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.4549$.

Como se puede ver, hasta 13.5 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 13.5 m. se puede modelar como una combinación de espacio libre y guía de onda.

Tabla 5.53: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-49.1476	1.765	13.5
-70.11	1.4549	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 49.15 + 17.65 * \log_{10} d & d \leq 13.5 \text{ m} \\ 70.11 + 14.55 * \log_{10} (d/13.5) & d > 13.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.209, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

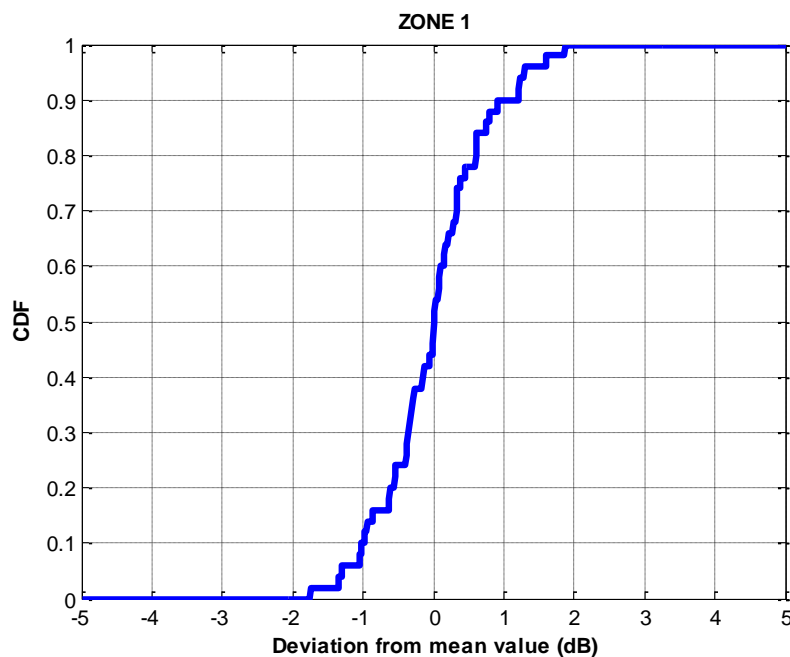


Figura 5.209: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -1.7 a 1.8 dB en la zona 1.

La Figura 5.210, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

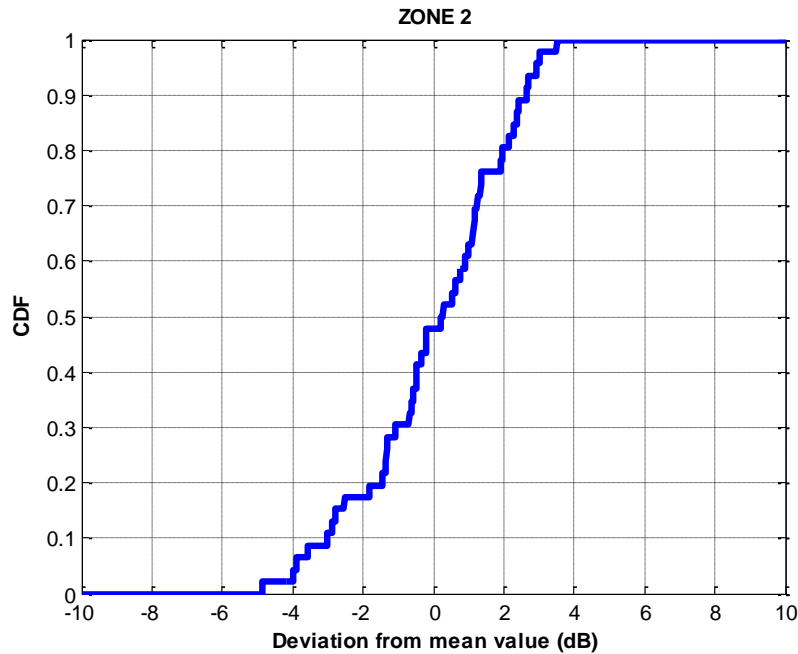


Figura 5.210: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -4.8 a 3.5 dB en la zona 2.

Polarización Horizontal.

La Figura 5.211, representa las ganancias (pérdidas que presentan el valor negativo de la ganancia) de propagación para un tono único de 5.5 GHz, con polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas.

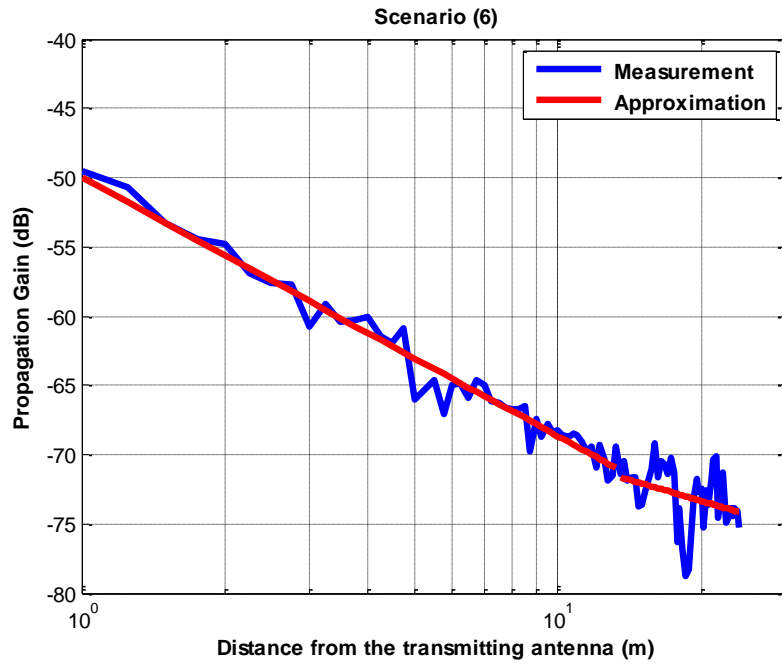


Figura 5.211: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

En este escenario pueden observarse dos exponentes de propagación distintos (dos zonas de propagación), en primer lugar, la zona1 con $n_1=1.8723$ es prácticamente igual al exponente de propagación en el espacio libre ($n_{FS} = 2$). En el segundo tramo, la zona2 el exponente de propagación es $n_2=1.0125$.

Como se puede ver, hasta 13.5 m. se puede modelar como espacio libre, pero a partir de 13.5 m. se puede modelar como propagación en guía de onda.

Tabla 5.54: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

VALOR INICIAL dB	EXPONENTE DE PROPAGACIÓN	PUNTO DE CAMBIO Metros
-49.96	1.8723	13.5
-71.62	1.0125	

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera:

$$L_{promedio}(dB) = \begin{cases} 49.96 + 18.72 * \log_{10} d & d \leq 13.5 \text{ m} \\ 71.62 + 10.12 * \log_{10} (d/13.5) & d > 13.5 \text{ m} \end{cases}$$

La Figura 5.212, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 1.

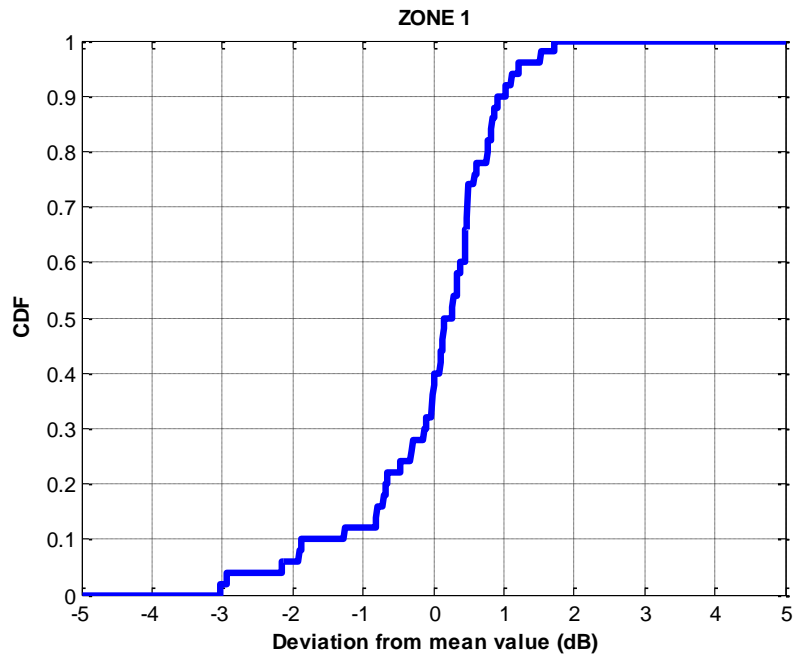


Figura 5.212: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 1 que están comprendidos entre -3 a 1.6 dB en la zona 1.

La Figura 5.213, representa la Función de distribución Acumulativa (CDF) para la Zona 2.

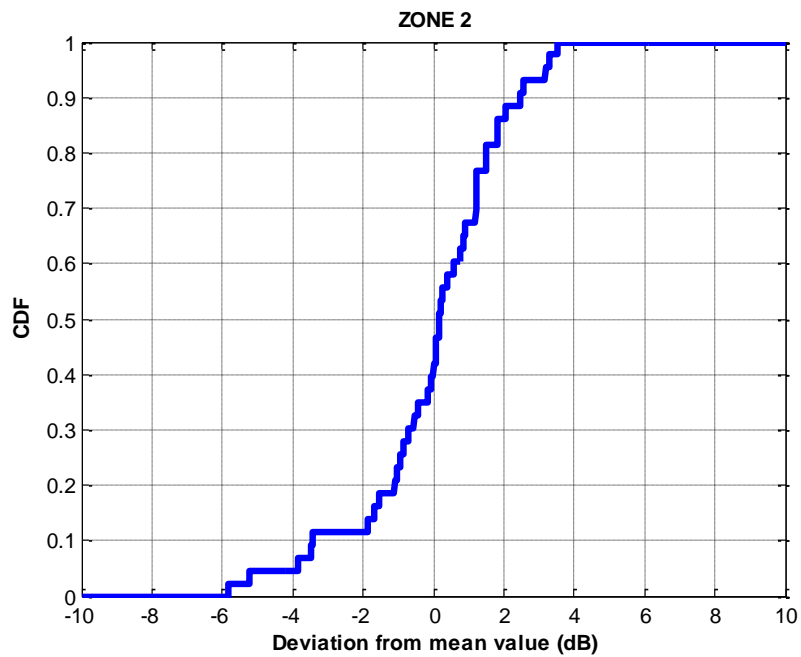


Figura 5.213: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz

La gráfica del CDF representa los valores de la desviación de la zona 2 que están comprendidos entre -5.8 a 3.5 dB en la zona 2.

Las Figura 5.214 y Figura 5.215, representan las pérdidas de propagación para los diferentes tonos de frecuencia utilizados tanto para polarización vertical como polarización horizontal, en función de la distancia de separación entre las antenas. En las cuales se puede apreciar:

La frecuencia de 5.5 GHz presenta mayor pérdida de la señal con respecto a las otras dos frecuencias hasta durante todo el enlace tanto para la polarización vertical como para la polarización horizontal.

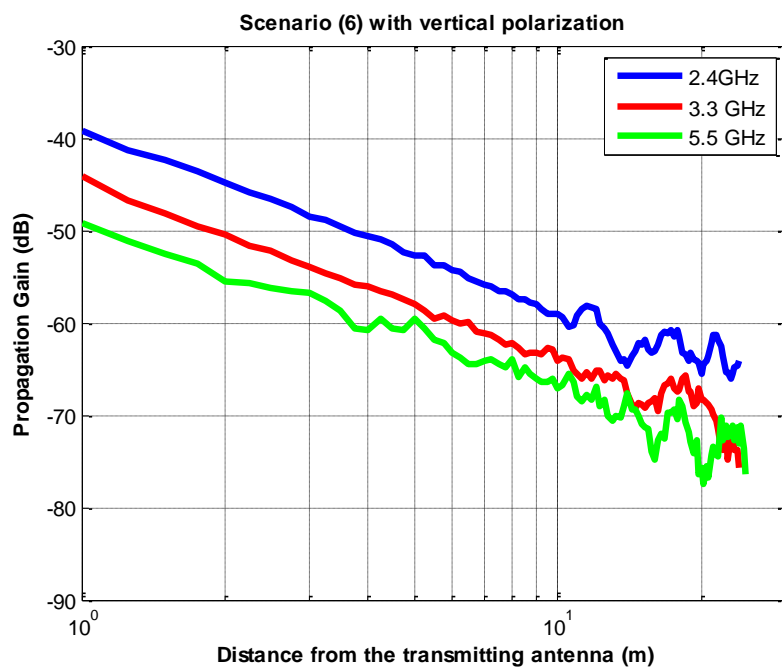


Figura 5.214: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 6)

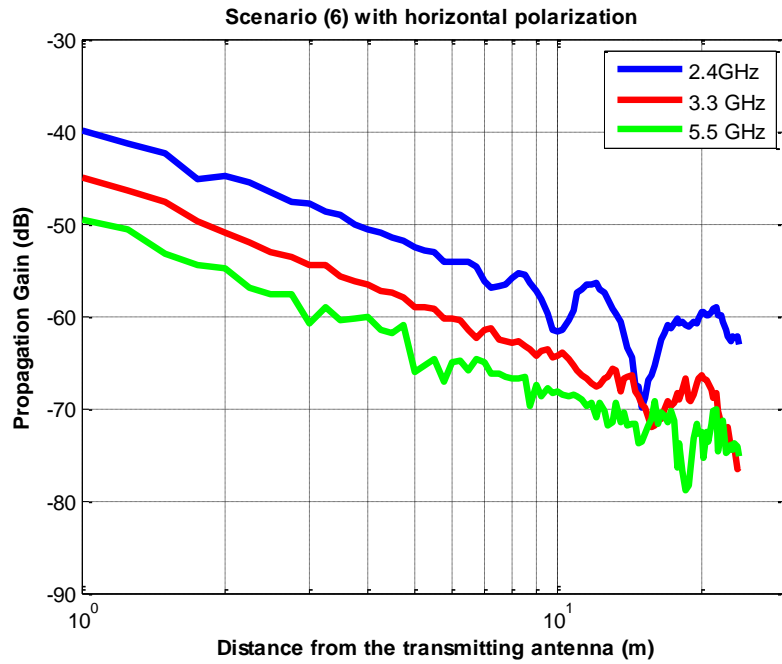


Figura 5.215: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 6)

5.4 Análisis de resultados:

Una vez realizadas las mediciones y analizados los datos obtenidos para los diferentes escenarios y frecuencias, se pueden resumir los resultados de las medidas (valor inicial y exponentes de propagación en diferentes zonas de propagación) en las Tabla 5.55 y Tabla 5.56, se muestran los resultados correspondientes.

Tabla 5.55: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical

ESCENARIO	POLARIZACIÓN VERTICAL					
	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	2.4	-45.15	1.653	-66.83	-3.746	12.75
	3.3	-43.54	1.751	-67.51	-0.446	14.75
	5.5	-49.69	1.949	-74.02	-7.880	13.25
2	2.4	-47.44	1.239	-61.2	4.372	7.25
	3.3	-45.43	1.227	-56.26	5.002	9.75
	5.5	-46.15	1.799	-64.07	0.912	8.5
3	2.4	-39.82	1.719	-53.73	2.684	9.75
	3.3	-42.99	1.103	-55.02	1.740	8.5
	5.5	-44.31	1.852	-63.05	1.071	9.75
4A	2.4	-40.26	1.711	-51.46	0.723	9.25
	3.3	-43.55	0.602	-50.46	1.742	9.75
	5.5	-47.83	1.815	-58.92	3.304	6.0
4B	2.4	-39.81	1.891	-52.12	1.172	5.5
	3.3	-44.53	1.930	-65.8	-2.149	12.0
	5.5	-45.86	2.056	-63.13	2.939	9.75
5A	2.4	-40.40	1.681	-57.0	0.742	6.0
	3.3	-43.34	2.377	-64.31	0.720	7.0
	5.5	-46.60	1.984	-65.31	2.476	10.5
5B	2.4	-40.01	1.661	-63.9	-1.223	9.75
	3.3	-45.19	1.945	-68.86	0.362	8.5
	5.5	-47.19	1.948	-67.6	3.405	10.5
6	2.4	-38.69	2.033	-60.1	1.310	11.0
	3.3	-44.63	1.939	-66.38	2.491	14.25
	5.5	-49.15	1.765	-70.11	1.455	13.5
7	2.4	-38.66	1.992	-56.39	1.091	8.0

	3.3	-45.00	1.953	-61.95	2.343	8.0
	5.5	-47.50	1.947	-66.35	2.080	10.0

Tabla 5.56: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal

POLARIZACIÓN HORIZONTAL						
ESCENARIO	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	2.4	-38.58	2.049	-63.37	-1.014	13.75
	3.3	-45.63	1.642	-62.54	1.022	8.25
	5.5	-49.68	1.807	-66.38	2.155	11.25
2	2.4	-49.34	1.66			
	3.3	-36.84	1.804	-49.12	5.411	8.5
	5.5	-46.36	1.92	-63.57	1.32	7.0
3	2.4	-38.49	1.765	-55.18	1.975	10.25
	3.3	-44.46	1.410	-59.75	0.741	9.25
	5.5	-43.72	1.89	-63.25	1.51	9.75
4A	2.4	-40.22	1.539	-52.67	0.88	9.75
	3.3	-40.72	2.010	-57.64	1.062	13.0
	5.5	-46.04	1.99	-57.12	4.557	6.0
4B	2.4	-40.22	1.749	-60.29	1.725	5.75
	3.3	-43.42	2.286	-62.94	-1.331	10.0
	5.5	-46.29	1.995	-67.99	1.069	9.75
5A	2.4	-40.92	1.639	-63.5	-1.566	9.0
	3.3	-43.85	2.104	-69.61	-1.544	9.0
	5.5	-46.54	1.950	-63.55	3.121	8.5
5B	2.4	-39.61	1.771	-60.47	0.845	8.75
	3.3	-45.17	1.864	-65.02	0.335	8.75
	5.5	-46.45	2.279	-68.45	4.239	12.25

6	2.4	-39.47	1.858	-59.5	0.616	8.75
	3.3	-44.85	1.982	-68.37	1.504	14.75
	5.5	-49.96	1.872	-71.62	1.012	13.5
7	2.4	-39.05	1.921	-55.95	0.868	6.75
	3.3	-44.19	1.972	-61.17	1.476	6.75
	5.5	-47.05	1.936	-66.62	2.009	9.75

En base a los resultados de las Tablas 5.55 y 5.56, las Tabla 5.57 y Tabla 5.58, indican una comparación de los exponentes de propagación tanto para polarización vertical como horizontal en función de los escenarios analizados, representando el valor mínimo y máximo de los exponentes de propagación para las dos zonas de propagación.

Tabla 5.57: Comparación de los exponentes de propagación para polarización vertical - escenario

ESCENARIO	POLARIZACIÓN VERTICAL					
	n1			n 2		
	Min	max	Prom	min	max	Prom
1	1.653	1.949	1.784	-0.496	-7.88	-4.025
2	1.227	1.799	1.422	0.912	5.002	3.429
3	1.103	1.853	1.558	1.071	2.684	1.832
4 A	0.602	1.815	1.376	0.723	3.304	1.923
4B	1.891	2.056	1.959	1.172	2.939	2.087
5 A	1.681	2.377	2.014	0.720	2.476	1.313
5B	1.661	1.948	1.851	0.362	3.405	1.663
6	1.765	2.033	1.912	1.310	2.491	1.752
7	1.947	1.991	1.965	1.091	2.343	1.838

El valor medio (sin importar la frecuencia de trabajo) de n1 está entre 1.376 y 2.014 indicando que las pérdidas de propagación tienen un límite superior igual al espacio libre. El valor medio (sin importar la frecuencia de trabajo) de n2 puede ser un valor positivo 3.429 o negativo hasta -4.025.

Tabla 5.58: Comparación de los exponentes de propagación para polarización horizontal - escenario

ESCENARIO	POLARIZACIÓN HORIZONTAL					
	n1			n 2		
	Min	max	Prom	min	Max	Prom
1	1.642	2.049	1.833	-1.014	2.155	1.397
2	1.66	1.92	1.795	1.32	5.411	3.365
3	1.410	1.89	1.688	0.742	1.975	1.409
4 A	1.539	2.010	1.846	0.88	4.557	2.166
4B	1.75	2.286	2.010	1.07	1.725	1.375
5 A	1.64	2.104	1.898	-1.544	3.121	2.077
5B	1.771	2.28	1.972	0.335	4.24	1.807
6	1.858	1.982	1.904	0.616	1.504	1.044
7	1.921	1.972	1.943	0.868	2.009	1.451

El valor medio (sin importar la frecuencia de trabajo) de n1 está entre 1.688 y 2.010 indicando que las pérdidas de propagación tienen un límite superior igual al espacio libre. El valor medio (sin importar la frecuencia de trabajo) de n2 está entre 1.044 y 3.365.

La Tabla 5.59 y Tabla 5.60, indican una comparación de los exponentes de propagación tanto para polarización vertical como horizontal en función de las frecuencias empleadas para los escenarios analizados.

Tabla 5.59: Comparación de los exponentes de propagación para polarización vertical - frecuencia

FRECUENCIA	POLARIZACIÓN VERTICAL					
	n1			n 2		
	Min	max	Prom	min	max	Prom
2.4 GHz	1.24	2.033	1.731	0.723	4.372	1.951
3.3 GHz	0.602	2.377	1.647	0.362	5.002	1.894
5.5 GHz	1.765	2.056	1.902	0.912	7.88	2.836

El valor medio (sin importar el escenario bajo estudio) de n_1 está entre 1.647 y 1.902 indicando que las pérdidas de propagación tienen un límite superior aproximadamente igual al espacio libre. El valor medio (sin importar el escenario bajo estudio) de n_2 está entre 1.894 y 2.836.

Tabla 5.60: Comparación de los exponentes de propagación para polarización horizontal - frecuencia

FRECUENCIA	POLARIZACIÓN HORIZONTAL					
	n_1			n_2		
	Min	max	Prom	min	max	Prom
2.4 GHz	1.54	2.049	1.773	0.616	1.975	1.188
3.3 GHz	1.410	2.286	1.897	0.335	5.411	1.603
5.5 GHz	1.807	2.28	1.96	1.012	4.557	2.333

El valor medio (sin importar el escenario bajo estudio) de n_1 está entre 1.773 y 1.96 indicando que las pérdidas de propagación tienen un límite superior aproximadamente igual al espacio libre. El valor medio (sin importar el escenario bajo estudio) de n_2 está entre 1.188 y 2.333, indicando que las pérdidas de propagación tienen un límite superior aproximadamente igual al espacio libre.

Tabla 5.61: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical en 2.4 GHz

POLARIZACIÓN VERTICAL						
ESCENARIO	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	2.4	-45.15	1.653	-66.83	-3.746	12.75
2	2.4	-47.44	1.239	-61.2	4.372	7.25
3	2.4	-39.82	1.719	-53.73	2.684	9.75
4A	2.4	-40.26	1.711	-51.46	0.723	9.25
4B	2.4	-39.81	1.891	-52.12	1.172	5.5
5A	2.4	-40.40	1.681	-57.0	0.742	6.0
5B	2.4	-40.01	1.661	-63.9	-1.223	9.75
6	2.4	-38.69	2.033	-60.1	1.310	11.0
7	2.4	-38.66	1.992	-56.39	1.091	8.0
PROMEDIO		-41.14	1.731	-58.08	0.792	8.81

Para la frecuencia de 2.4 GHz en polarización vertical, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -41.14 dB para un exponente de propagación promedio n1 de 1.731 y para un exponente de propagación promedio n2 de 0.792 con una ganancia de propagación inicial para la zona 2 de -58.08 dB con un punto de cambio promedio de 8.81 m.

Tabla 5.62: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal en 2.4 GHz

ESCENARIO	POLARIZACIÓN HORIZONTAL					
	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	2.4	-38.58	2.049	-63.37	-1.014	13.75
2	2.4	-49.34	1.66			
3	2.4	-38.49	1.765	-55.18	1.975	10.25
4A	2.4	-40.22	1.539	-52.67	0.88	9.75
4B	2.4	-40.22	1.749	-60.29	1.725	5.75
5A	2.4	-40.92	1.639	-63.5	-1.566	9.0
5B	2.4	-39.61	1.771	-60.47	0.845	8.75
6	2.4	-39.47	1.858	-59.5	0.616	8.75
7	2.4	-39.05	1.921	-55.95	0.868	6.75
PROMEDIO		-40.65	1.77	-58.86	0.54	9.09

Para la frecuencia de 2.4 GHz en polarización horizontal, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -40.65 dB para un exponente de propagación promedio n1 de 1.77 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n2 de 0.54 con una ganancia de propagación de -58.86 dB con un punto de cambio promedio de 9.09 m.

De las Tablas 5.61 y 5.62 se observa que las pérdidas de propagación no cambian mucho con el tipo de polarización.

Tabla 5.63: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical en 3.3 GHz

POLARIZACIÓN VERTICAL						
ESCENARIO	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	3.3	-43.54	1.751	-67.51	-0.496	14.75
2	3.3	-45.43	1.227	-56.26	5.002	9.75
3	3.3	-42.99	1.103	-55.02	1.740	8.5
4 A	3.3	-43.55	0.602	-50.46	1.742	9.75
4B	3.3	-44.53	1.930	-65.8	-2.149	12.0
5 A	3.3	-43.34	2.377	-64.31	0.720	7.0
5B	3.3	-45.19	1.945	-68.86	0.362	8.5
6	3.3	-44.63	1.939	-66.38	2.491	14.25
7	3.3	-45.00	1.953	-61.95	2.343	8.0
PROMEDIO		-44.24	1.65	-61.84	1.31	10.27

Para la frecuencia de 3.3 GHz para polarización vertical, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -44.24 dB para un exponente de propagación promedio n1 de 1.65 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n2 de 1.31 con una ganancia de propagación de -61.84 dB con un punto de cambio promedio de 10.27 m.

Tabla 5.64: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal en 3.3 GHz

POLARIZACIÓN HORIZONTAL						
ESCENARIO	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	3.3	-45.63	1.642	-62.54	1.022	8.25
2	3.3	-36.84	1.804	-49.12	5.411	8.5
3	3.3	-44.46	1.410	-59.75	0.741	9.25
4A	3.3	-40.72	2.010	-57.64	1.062	13.0
4B	3.3	-43.42	2.286	-62.94	-1.331	10.0
5A	3.3	-43.85	2.104	-69.61	-1.544	9.0
5B	3.3	-45.17	1.864	-65.02	0.335	8.75
6	3.3	-44.85	1.982	-68.37	1.504	14.75
7	3.3	-44.19	1.972	-61.17	1.476	6.75
PROMEDIO		-43.24	1.89	-61.79	0.96	9.8

Para la frecuencia de 3.3 GHz para polarización horizontal, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -43.24 dB para un exponente de propagación promedio n1 de 1.89 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n2 de 0.96 con una ganancia de propagación de -61.79 dB con un punto de cambio promedio de 9.8 m.

De las Tablas 5.63 y 5.64 se observa que las pérdidas de propagación no cambian mucho con el tipo de polarización.

Tabla 5.65: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical en 5.5 GHz

POLARIZACIÓN VERTICAL						
ESCENARIO	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	5.5	-49.69	1.949	-74.02	-7.880	13.25
2	5.5	-46.15	1.799	-64.07	0.912	8.5
3	5.5	-44.31	1.852	-63.05	1.071	9.75
4A	5.5	-47.83	1.815	-58.92	3.304	6.0
4B	5.5	-45.86	2.056	-63.13	2.939	9.75
5A	5.5	-46.60	1.984	-65.31	2.476	10.5
5B	5.5	-47.19	1.948	-67.6	3.405	10.5
6	5.5	-49.15	1.765	-70.11	1.455	13.5
7	5.5	-47.50	1.947	-66.35	2.080	10.0
PROMEDIO		-47.14	1.902	-65.84	1.08	10.19

Para la frecuencia de 5.5 GHz para polarización vertical, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -47.14 dB para un exponente de propagación promedio n1 de 1.902 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n2 de 1.08 con una ganancia de propagación de -65.84 dB con un punto de cambio promedio de 10.19 m.

Tabla 5.66: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal en 5.5 GHz

ESCENARIO	POLARIZACIÓN HORIZONTAL					
	Frecuencia GHz	Zone 1 Initial Propagation Gain dB	n1	Zone 2 Initial Propagation Gain dB	n 2	Pto. cambio m
1	5.5	-49.68	1.807	-66.38	2.155	11.25
2	5.5	-46.36	1.92	-63.57	1.32	7.0
3	5.5	-43.72	1.89	-63.25	1.51	9.75
4A	5.5	-46.04	1.99	-57.12	4.557	6.0
4B	5.5	-46.29	1.995	-67.99	1.069	9.75
5A	5.5	-46.54	1.950	-63.55	3.121	8.5
5B	5.5	-46.45	2.279	-68.45	4.239	12.25
6	5.5	-49.96	1.872	-71.62	1.012	13.5
7	5.5	-47.05	1.936	-66.62	2.009	9.75
PROMEDIO		-46.89	1.96	-65.39	2.33	9.75

Para la frecuencia de 5.5 GHz para polarización horizontal, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -46.89 dB para un exponente de propagación promedio n1 de 1.96 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n2 de 2.33 con una ganancia de propagación de -65.39 dB con un punto de cambio promedio de 9.75 m.

De las Tablas 5.65 y 5.66 se observa que las pérdidas de propagación no cambian mucho con el tipo de polarización.

Capítulo 6

6 Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se presentan las conclusiones más importantes después de analizar los resultados, adicionalmente se presenta una sugerencia de trabajos en la misma línea de investigación.

6.1 Conclusiones

- Se ha notado que con los equipos disponibles el enlace máximo es de 25 metros.
- Hay diferentes comportamientos entre escenarios anchos y estrechos.
- La polarización de la antena no es un parámetro muy importante en definir el valor de las pérdidas de propagación debido a que las estructuras de los edificios en los interiores son planas.
- Se ha notado en general dos zonas de propagación: la primera con un exponente de propagación cercano a 2 y segunda con valores extremos positivos y negativos.
- El valor de las pérdidas de propagación en la distancia de referencia (1 metro) es siempre muy cerca del valor de las pérdidas por el espacio libre.
- Para la frecuencia de 2.4 GHz en polarización vertical, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -41.14 dB para un exponente de propagación promedio n_1 de 1.731 y para un exponente de propagación promedio n_2 de 0.792 con una ganancia de propagación inicial para la zona 2 de -58.08 dB con un punto de cambio promedio de 8.81 m.
- Para la frecuencia de 2.4 GHz en polarización horizontal, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -40.65 dB para un exponente de propagación promedio n_1 de 1.77 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n_2 de 0.54 con una ganancia de propagación de -58.86 dB con un punto de cambio promedio de 9.09 m.
- Para la frecuencia de 3.3 GHz para polarización vertical, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -44.24 dB para un exponente de propagación promedio n_1 de 1.65 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n_2 de 1.31 con una ganancia de propagación de -61.84 dB con un punto de cambio promedio de 10.27 m.
- Para la frecuencia de 3.3 GHz para polarización horizontal, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -43.24 dB para un exponente de propagación

promedio n_1 de 1.89 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n_2 de 0.96 con una ganancia de propagación de -61.79 dB con un punto de cambio promedio de 9.8 m

- Para la frecuencia de 5.5 GHz para polarización vertical, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -47.14 dB para un exponente de propagación promedio n_1 de 1.902 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n_2 de 1.08 con una ganancia de propagación de -65.84 dB con un punto de cambio promedio de 10.19 m.
- Para la frecuencia de 5.5 GHz para polarización horizontal, se tiene un valor medio de ganancia de propagación inicial de -46.89 dB para un exponente de propagación promedio n_1 de 1.96 y para un exponente de propagación inicial para la zona 2 promedio n_2 de 2.33 con una ganancia de propagación de -65.39 dB con un punto de cambio promedio de 9.75 m.

6.2 Trabajo futuro

Una vez finalizada la campaña de medidas para éste proyecto, y haber analizado los mismos, se ve la importancia de disponer de datos que ayuden a los diseñadores de redes, por lo que se sugiere como trabajos en esta misma línea:

- Elaborar una campaña de medidas empleando equipos con mejores prestaciones (mayor potencia de transmisión y mejor sensibilidad en recepción utilizando un amplificador de bajo ruido) y mejores cables con menor pérdida para obtener medidas a mayor distancia siempre y cuando el escenario sea suficientemente largo para obtener ventaja de las prestaciones de dichos equipos
- Elaborar una campaña de medida para sistemas SIMO, para diferentes frecuencias.
- Elaborar una campaña de medida para sistemas MIMO, para diferentes frecuencias

Referencias

REFERENCIAS

[1] Gernot Bauer, “El estándar IEEE 802.11ac: las WLAN rebasan la barrera del gigabit”, NOVEDADES 204 /11, Revista NEWS de Rohde & Schwarz

http://www.rohde-schwarz.com.mx/file_17115/NEWS_204_spanish_WLAN_IEEE802_11ac.pdf

[2] B. R. Jadhavar, T. R. Sontakke , “2.4 GHz Propagation Prediction Models for Indoor Wireless Communications Within Building”, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN: 2278-3075, Volume-2, Issue-3, July 2012

<http://www.techrepublic.com/whitepapers/24-ghz-propagation-prediction-models-for-indoor-wireless-communications-within-building/5340616>

[3] Aleksandar Neskovic, Natasa Neskovic, and George Paunovic, “Modern approaches in modeling of mobile radio systems propagation environment”, Published in: Communications Surveys & Tutorials, IEEE (Volume:3 , Issue: 3), 2000

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5340727&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5340727

[4] Iván Castillo Olmo, “Caracterización experimental del canal radio a 2.4 GHz para sistemas MIMO en entornos de interiores”

http://www.researchgate.net/publication/36720543_Caracterizacin_experimental_del_canal_radio_a_2.4_GHz_para_sistemas_MIMO_en_entornos_de_interiores

[5] M. Carroll, T.A.Wysocki, “Fading Characteristics for Indoor Wireless Channels at 5GHz Unlicensed Bands”, SympoTIC '03, the Joint First Workshop on Mobile Future and Symposium on Trends in Communications, 26-28, October 2003, 102-105. Copyright IEEE 2003.

<http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=infopapers>

[6] Irfan Ahmed, Sara Orfali, Tamer Khattab, Amr Mohamed, “Characterization of the Indoor-Outdoor Radio Propagation Channel at 2.4 GHz”, 2011 IEEE GCC Conference and Exhibition (GCC), february 19-22 2011, Dubai, United Arab Emirates

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05752598>

[7] Robert Akl and Dinesh Tummala, Xinrong Li, “Indoor propagation modeling at 2.4 GHz for IEEE 802.11 Networks”, The sixth IASTED International Multi-Conference on Wireless and

Optical Communications Wireless Networks and Emerging Technologies, July 3-5, 2006 Banff, AB, Canada

<http://www.cse.unt.edu/~rakl/ATL06.pdf>

[8] Rafael S. de Souza and Rafael D. Lins, "A New Propagation Model for 2.4 GHz Wireless LAN", Communications, 2008. APCC 2008. 14th Asia-Pacific Conference on Data of Conference: 14-16 Oct. 2008

http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4773720

[9] N. Yarkony*, N. Blaunstein t(+), "Prediction of propagation characteristics in indoor radio communication environments", Progress In Electromagnetics Research, PIER 59, 151-174, 2006

<http://www.jpier.org/PIER/pier59/09.0509081.Yarkoni.B.pdf>

[10] David Fernández Campillo, "Caracterización experimental del canal de radio a 5.5 GHz en diferentes entornos", Junio 2012.

<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20120626DavidFernandezCampillo.pdf>

[11] Bazil Taha Ahmed, David Fernandez Campillo, and Jose Luis Masa Campos, "Short Range Propagation Model for a Very Wideband Directive Channel at 5.5 GHz Band", Progress In Electromagnetics Research, Vol. 130, 319-346, 2012.

<http://www.jpier.org/PIER/pier.php?paper=12060509>

[12] "Modelos de propagación en interiores"

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Vol%C3%BAmen2%252F11-Cap%C3%ADtulo6+-+Modelos+de+propagaci%C3%B3n+en+interiores.pdf>

[13] Ali Kara , "Human body shadowing variability in short-range indoor radio links at 3–11 GHz band", International Journal of Electronics, Vol. 96, No. 2, February 2009, 205–211

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207210802524302?journalCode=tetn20#.UbhIfcoVr6U>

[14] "Discover and Lear"

<http://www.wi-fi.org/discover-and-learn> 13/06/2013

[15] "WiMax-802.16 – Interoperabilidad mundial para acceso por micro

"<http://es.kioskea.net/comtenta/795-wimx-802-16-interoperabilidad-munial-para-acceso-por-micro> 13/06/2013

[16] Francisco Ramos Pascual, "Radiocomunicaciones", Editorial Marcombo, Barcelona 2007 pag 65-75

ISBN 978-84-267-1449-7

[17] “Tipos de antena y funcionamiento

”http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte&catid=31:general&Itemid=79

[18] “Diagrama de radiación de una antena. Interpretación

”<http://kilomo.blogspot.com.es/2012/02/diagramas-de-radiacion-de-una-antena.html> 14/6/2013

[19] “Campo de las regiones

”<http://www.antenna-theory.com/spanish/basics/fieldRegions.php> 14/06/2013

[20] José Luis García Cué, “Interpretación de la FDA”,
<http://colposfesz.galeon.com/est501/probabi/teo/cap402/cap402.htm>

Listado de Figuras

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1: Desarrollo de las redes inalámbricas	2
Figura 2.1: Fenómenos físicos del canal de radio [4].....	11
Figura 2.2: Pérdidas en el espacio libre.....	16
Figura 3.1: Diagrama de radiación de una antena tipo panel [18].....	20
Figura 3.2: Regiones de radiación de una antena [19]	22
Figura 3.3: Ejemplo de histograma	24
Figura 3.4: Función distribución acumulativa.....	24
Figura 4.1: Equipo empleado en la campaña de medidas	27
Figura 4.2: Antenas y pedestales empleados.....	27
Figura 4.3: Antenas del tipo panel	28
Figura 4.4: Determinación de la atenuación del cable	30
Figura 4.5: Analizador de espectro Anritsu MS2717B	30
Figura 4.6: Generador de señales Rohde & Schwarz SMB100A.....	31
Figura 4.7: Medidor de distancia Bosch DLE40.....	31
Figura 4.8: Determinación de las pérdidas por el cable	32
Figura 4.9: Conexión de equipos y antenas a la distancia de referencia.	34
Figura 4.10: Ejemplo de representación logarítmica.....	35
Figura 4.11: Ejemplo de CDF	35
Figura 5.1: Plano del pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C	37
Figura 5.2: Foto pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C.....	38
Figura 5.3: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	38
Figura 5.4: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	39
Figura 5.5: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	40
Figura 5.6: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	41
Figura 5.7: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz.....	42

Figura 5.8: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz.....	42
Figura 5.9: Foto pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C.....	43
Figura 5.10: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	44
Figura 5.11: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz.....	45
Figura 5.12: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz.....	45
Figura 5.13: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	46
Figura 5.14 : CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz.....	47
Figura 5.15: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz.....	48
Figura 5.16: Foto pasillo junto a los laboratorios C103 - C109, Planta 1, Edificio C.....	49
Figura 5.17: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	49
Figura 5.18: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz.....	50
Figura 5.19: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	51
Figura 5.20: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	52
Figura 5.21: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz.....	53
Figura 5.22: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz.....	54
Figura 5.23: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 1).....	55
Figura 5.24: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 1).....	55
Figura 5.25: Plano del pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C.....	56
Figura 5.26: Foto pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C	56
Figura 5.27: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	57
Figura 5.28: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz.....	58
Figura 5.29: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz.....	59
Figura 5.30: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	60
Figura 5.31: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz.....	61
Figura 5.32: Foto pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C	62
Figura 5.33: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	62
Figura 5.34: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz.....	63
Figura 5.35: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz.....	64

Figura 5.36: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	65
Figura 5.37: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	66
Figura 5.38: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	66
Figura 5.39: Foto pasillo junto a los despachos C104 - C112, Planta 1, Edificio C	67
Figura 5.40: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	68
Figura 5.41: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	69
Figura 5.42: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	70
Figura 5.43: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	71
Figura 5.44: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	72
Figura 5.45: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	72
Figura 5.46: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 2)	73
Figura 5.47: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 2)	74
Figura 5.48: Plano del pasillo junto a los laboratorios C005 –C007, Planta baja, Edificio C	74
Figura 5.49: Foto pasillo junto a los laboratorios C005 –C007, Planta baja, Edificio C	75
Figura 5.50: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	75
Figura 5.51: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	76
Figura 5.52: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	77
Figura 5.53: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	78
Figura 5.54: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	79
Figura 5.55: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	80
Figura 5.56: Foto pasillo junto a los laboratorios C005 – C007, Planta baja, Edificio C	81
Figura 5.57: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	81
Figura 5.58: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	83
Figura 5.59: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	83
Figura 5.60: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	84
Figura 5.61: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	85
Figura 5.62: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	86
Figura 5.63: Foto pasillo junto a los laboratorios C005 – C007, Planta baja, Edificio C	87

Figura 5.64: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	87
Figura 5.65: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	89
Figura 5.66: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	89
Figura 5.67: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	90
Figura 5.68: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	91
Figura 5.69: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	92
Figura 5.70: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 3)	93
Figura 5.71: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 3)	93
Figura 5.72: Plano del pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C .	94
Figura 5.73: Foto pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C	95
Figura 5.74: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	95
Figura 5.75: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	97
Figura 5.76: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	97
Figura 5.77: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	98
Figura 5.78: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	99
Figura 5.79: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	100
Figura 5.80: Foto pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C	101
Figura 5.81: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	101
Figura 5.82: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	102
Figura 5.83: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	103
Figura 5.84: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz ...	104
Figura 5.85: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	105
Figura 5.86: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	105
Figura 5.87: Foto pasillo junto al laboratorio C103 y aula C105, primer piso, Edificio C	106
Figura 5.88: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	107
Figura 5.89: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	108
Figura 5.90: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	108
Figura 5.91: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz ...	109

Figura 5.92: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	110
Figura 5.93: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	111
Figura 5.94: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 7)	112
Figura 5.95: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 7)	112
Figura 5.96: Plano del pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B	113
Figura 5.97: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B	114
Figura 5.98: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	114
Figura 5.99: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	115
Figura 5.100: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	116
Figura 5.101: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz.	117
Figura 5.102: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	118
Figura 5.103: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	118
Figura 5.104: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B	119
Figura 5.105: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	120
Figura 5.106: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	121
Figura 5.107: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	121
Figura 5.108: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz.	122
Figura 5.109: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	123
Figura 5.110: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	124
Figura 5.111: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B	125
Figura 5.112: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	125
Figura 5.113: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	126
Figura 5.114: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	127
Figura 5.115: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz.	128
Figura 5.116: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	129
Figura 5.117: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	129
Figura 5.118: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 4 A)	130
Figura 5.119: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 4 A)	131

Figura 5.120: Plano del pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B ...	131
Figura 5.121: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B	132
Figura 5.122: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	133
Figura 5.123: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	134
Figura 5.124: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	134
Figura 5.125: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz .	135
Figura 5.126: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	136
Figura 5.127: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	137
Figura 5.128: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B	138
Figura 5.129: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	138
Figura 5.130: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	139
Figura 5.131: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	140
Figura 5.132: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz .	141
Figura 5.133: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	142
Figura 5.134: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	142
Figura 5.135: Foto pasillo junto a los despachos B340 – B353, tercer piso, Edificio B	143
Figura 5.136: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	144
Figura 5.137: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	145
Figura 5.138: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	145
Figura 5.139: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz .	146
Figura 5.140: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	147
Figura 5.141: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	148
Figura 5.142: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 4B)	149
Figura 5.143: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 4B)	149
Figura 5.144: Plano junto al pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B	150
Figura 5.145: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B	151
Figura 5.146: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	151

Figura 5.147: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	152
Figura 5.148: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	153
Figura 5.149: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz.	154
Figura 5.150: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	155
Figura 5.151: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	155
Figura 5.152: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B	156
Figura 5.153: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	157
Figura 5.154: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	158
Figura 5.155: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	158
Figura 5.156: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz.	159
Figura 5.157: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	160
Figura 5.158: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	161
Figura 5.159: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B	162
Figura 5.160: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	162
Figura 5.161: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	163
Figura 5.162: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	164
Figura 5.163: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz.	165
Figura 5.164 : CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	166
Figura 5.165: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	166
Figura 5.166: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 5 A)	167
Figura 5.167: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 5 A)	168
Figura 5.168: Plano del pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B ..	168
Figura 5.169: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B	169
Figura 5.170: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	170
Figura 5.171: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	171
Figura 5.172: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	171
Figura 5.173: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz.	172
Figura 5.174: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	173

Figura 5.175: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	174
Figura 5.176: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B	175
Figura 5.177: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	175
Figura 5.178: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	176
Figura 5.179: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	177
Figura 5.180: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz .	178
Figura 5.181: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	179
Figura 5.182: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	179
Figura 5.183: Foto pasillo junto a los despachos B409 – B415, cuarto piso, Edificio B	180
Figura 5.184: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	181
Figura 5.185: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	182
Figura 5.186: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	182
Figura 5.187: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz .	183
Figura 5.188: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	184
Figura 5.189 : CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	185
Figura 5.190: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 5B)	186
Figura 5.191: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 5B)	186
Figura 5.192: Plano del pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A	187
Figura 5.193: Foto pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A	188
Figura 5.194: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	188
Figura 5.195: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	189
Figura 5.196: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	190
Figura 5.197: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz .	191
Figura 5.198: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	192
Figura 5.199: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	192
Figura 5.200: Foto pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A	193
Figura 5.201: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	194
Figura 5.202: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	195

Figura 5.203: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	195
Figura 5.204: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz. 196	
Figura 5.205: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	197
Figura 5.206: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	198
Figura 5.207: Foto pasillo junto a las aulas A06 – A09, primer piso, Edificio A	199
Figura 5.208: Ganancia de propagación en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	199
Figura 5.209: CDF para la Zona 1 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	200
Figura 5.210: CDF para la Zona 2 en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	201
Figura 5.211: Ganancia de propagación en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz. 202	
Figura 5.212: CDF para la Zona 1 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	203
Figura 5.213: CDF para la Zona 2 en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	203
Figura 5.214: Ganancia de propagación con polarización vertical (Escenario 6)	204
Figura 5.215: Ganancia de propagación con polarización horizontal (Escenario 6)	205

Listado de Tablas

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1: Exponente de pérdidas en el trayecto para diferentes medio ambientes [7]	13
Tabla 3.1: Tecnologías Wi-Fi [14]	18
Tabla 3.2: Estándar Wi-Max [15]	18
Tabla 4.1: Características de las antenas panel	29
Tabla 4.2: Pérdidas introducidas por los cables	29
Tabla 4.3: Parámetros que se utilizan para calibrar.....	33
Tabla 5.1: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	39
Tabla 5.2: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	41
Tabla 5.3: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	44
Tabla 5.4: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	47
Tabla 5.5: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	50
Tabla 5.6: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	52
Tabla 5.7: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	57
Tabla 5.8: Exponente de propagación para la zona 1 en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	60
Tabla 5.9: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	63
Tabla 5.10: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	65

Tabla 5.11: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	68
Tabla 5.12 : Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	71
Tabla 5.13: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	76
Tabla 5.14: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	78
Tabla 5.15: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	82
Tabla 5.16: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	85
Tabla 5.17: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	88
Tabla 5.18: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	91
Tabla 5.19: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	96
Tabla 5.20: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	99
Tabla 5.21: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	102
Tabla 5.22: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	104
Tabla 5.23: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	107
Tabla 5.24: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	110
Tabla 5.25: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	115
Tabla 5.26: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	117

Tabla 5.27: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	120
Tabla 5.28: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	123
Tabla 5.29: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	126
Tabla 5.30: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	128
Tabla 5.31: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	133
Tabla 5.32: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	136
Tabla 5.33: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	139
Tabla 5.34: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	141
Tabla 5.35: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	144
Tabla 5.36: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	147
Tabla 5.37: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	152
Tabla 5.38: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	154
Tabla 5.39: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	157
Tabla 5.40: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	159
Tabla 5.41: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	163
Tabla 5.42: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	165

Tabla 5.43: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	170
Tabla 5.44: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	173
Tabla 5.45: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	176
Tabla 5.46: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	178
Tabla 5.47: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	181
Tabla 5.48: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	183
Tabla 5.49: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 2.4 GHz	189
Tabla 5.50: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 2.4 GHz	191
Tabla 5.51: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 3.3 GHz	194
Tabla 5.52: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 3.3 GHz	197
Tabla 5.53: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización vertical para un tono de 5.5 GHz	200
Tabla 5.54: Exponentes de propagación para las dos zonas en polarización horizontal para un tono de 5.5 GHz	202
Tabla 5.55: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical.....	206
Tabla 5.56: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal	207
Tabla 5.57: Comparación de los exponentes de propagación para polarización vertical - escenario.....	208
Tabla 5.58: Comparación de los exponentes de propagación para polarización horizontal - escenario.....	209
Tabla 5.59: Comparación de los exponentes de propagación para polarización vertical - frecuencia	209

Tabla 5.60: Comparación de los exponentes de propagación para polarización horizontal - frecuencia	210
Tabla 5.61: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical en 2.4 GHz	211
Tabla 5.62: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal en 2.4 GHz	212
Tabla 5.63: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical en 3.3 GHz	213
Tabla 5.64: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal en 3.3 GHz	214
Tabla 5.65: Datos de exponentes de propagación para polarización vertical en 5.5 GHz	215
Tabla 5.66: Datos de exponentes de propagación para polarización horizontal en 5.5 GHz	216